

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Нанотехнологии, материаловедение и механика
(наименование)

22.04.01. Материаловедение и технологии материалов
(код и наименование направления подготовки)

Инжиниринг перспективных материалов и диагностика поведения материалов в
изделиях
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Анализ разрушения элементов технологических машин
производства кормов.

Студент Д.Г. Зенин ...
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Научный доктор технических наук, профессор, Г.В. Клевцов
руководитель (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Содержание:

Введение.....	4
1 Аналитический обзор. Основные механизмы разрушения металлических материалов и требования к элементам технологических машин производства кормов	7
1.1 Теоретические основы производства премиксов.....	7
1.1.1 Минеральные вещества	9
1.1.2 Витамины.....	11
1.2 Технологические машины производства премиксов и требования к их прочности.....	14
1.2.1 Основные технологические операции.....	14
2.2 Требования к оборудованию.....	19
1.3 Основные механизмы разрушения металлических материалов в дробилке.....	23
1.4 Сталь 30ХГСА для производства молотков дробилки ДМ-10.....	37
2 Объект и методики исследования.....	42
2.1 Объект исследования.....	42
2.2 Испытание материала молотков на твердость.....	42
2.3 Методика исследования структуры и механизма износа материала молотков.....	43
2.3.1 Методика исследования структуры стали 30ХГСА после термической обработки.....	43
2.3.2 Методика изучения механизма износа молотков.....	45
2.4 Методика термической обработки молотков дробилки ДМ-10 из стали 45.....	47
3 Результаты исследования и их обсуждение.....	50
3.1 Исследование структуры и твердости стали 30ХГСА, используемой для изготовления промышленных молотков дробилки ДМ-10.....	50
3.2 Исследование механизма износа поверхности молотков.....	52

3.2.1 Макроанализ износа поверхности молотков.....	52
3.2.2 Микроанализ износа поверхности молотков в растровом электронном микроскопе (РЭМ).....	54
3.2.3 Изучение износа поверхности молотков на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (КЛСМ).....	56
3.3 Обоснование по замене материала молотков дробилки ДМ-10 из стали 30ХГСА на сталь 45.....	61
3.4 Результаты оценки приблизительного экономического эффекта от работоспособности эксперимента молотков из стали 45 дробилки ДМ-10 по сравнению со сталью 30ХГСА	63
Заключение.....	65
Список использованных источников.....	67
Приложение А. Протокол испытаний № 1.....	73
Приложение Б. Протокол испытаний № 2.....	74

Введение

Для скорейшего восстановления экономики нашей страны необходимо развитие одной из незаменимых ее сфер – пищевой, частью которой является животноводческий сектор сельского хозяйства. Животноводство наряду со многими факторами, влияющими на состояние животных (такими как ветеринарное обслуживание, условия содержания и др.) тем не менее напрямую зависит от качества кормления животных. [51]. Доказано, что у высокопродуктивных животных и птиц, у которых генетически заложено производство большого количества продуктов (таких как молоко, яйца и др.) их промышленный потенциал напрямую зависит как генетических особенностей, так и качества кормления, необходимого для реализации этих генетических факторов. Следует обратить внимание на тот факт, что плохое качество питания в большей степени отрицательно влияет на здоровье и выживаемость в целом именно на высокопродуктивных животных, в то время как низко продуктивные животные имеют больший потенциал выживаемости при недостаточном поступлении питательных веществ. Это связано с тем, что большая продуктивность требует большего расхода питательных веществ в организме. Улучшения качества кормов и расширения разнообразия кормовой базы, которое необходимо для разных видов животных, их физиологического состояния и др. особенностей достигается введением премиксов [59].

Актуальность данной темы определяется ее значимостью для развития аграрно-промышленного комплекса (комбикормовой, мясной, молочной и др.), отечественного животноводства и других смежных отраслей сельского хозяйства, ведущих к укреплению продовольственной безопасности страны и благополучию населения [6, 51, 59].

В нашей стране на данный момент очень мало исследований по повышению эффективности производства премиксов и оценке их влияния на смежные с ним отрасли аграрно-промышленного комплекса, а также

недостаточно изученная экономическая сторона данного производства подчеркивает высокую актуальность исследуемой проблемы [51].

Целью настоящей работы является увеличение срока использования молотков в молотковой дробилке ДМ-10 для производства премиксов на АО «Витасоль».

В процессе выполнения данной работы были сформулированы и решаются следующие задачи:

- изучить актуальность производства премиксов для развития сельского хозяйства;
- изучить зарубежный и отечественный опыт в области производства премиксов;
- проанализировать процесс производства премиксов на предприятии;
- провести анализ влияния всех этапов производства на качество выпускаемой продукции;
- определить объект, модернизация которого приведет к положительному экономическому эффекту.
- определить актуальность производства премиксов для развития сельского хозяйства;
- проанализировать процесс производства премиксов на предприятии АО «Витасоль»;
- определить объекты, ответственные за снижение производительности и снижение положительного экономического эффекта;
- изучить структуру твердость стали из которой производятся молотки;
- изучить механизм износа молотков дробилки ДМ-10;
- предложить пути повышения работоспособности молотков дробилки. ДМ-10, как способ дающий экономический эффект.

Объектом исследования стало оборудование для производства премиксов, а именно молотки в дробилке для дробления сырья, АО «Витасоль», которая специализируется на производстве премиксов.

Предметом исследования явились методические рекомендации, а также практический опыт и его экономическая составляющая по производству премиксов.

Исходными материалами послужили данные статистики производства АО «Витасоль». В ходе исследования использовались методические материалы Воронежского научно-исследовательского института комбикормовой промышленности (ВГИИКП); Всероссийского научно-исследовательского института физиологии, биохимии и питания сельскохозяйственных животных (ГНУ ВИЖ), посвященные повышению эффективности производства кормов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- изучено качество работы молотков дробилки в зависимости от их истирания;
- проведены исследования изменений металла в отработанных молотках;
- определены критерии требований к материалу для молотков.
- выбрана сталь и установлены молотки из данной стали на оборудование.
- доказана экономическая эффективность работы молотков из рекомендованной стали.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенная замена стали молотков повысило срок работы молотков практически в 2.5 раза. В настоящее время молотки из термообработанной стали 45 продолжают работать.

1 Аналитический обзор. Основные механизмы разрушения металлических материалов и требования к элементам технологических машин производства кормов

1.1 Теоретические основы производства премиксов

Ученые начали изучать кормление животных как научный объект в начале девятнадцатого века, когда произошло активное культивирование растений и увеличение пахотных земель. Этот факт стал стимулирующим в развитии науки о кормлении сельскохозяйственных животных. Отныне эффективность животноводства стала зависимой от развития науки, которая основывается на оценке рационов [6].

Благодаря открытиям в смежных областях науки были разработаны нормы кормления сельскохозяйственных животных, которые дополнялись введением в рационы макро и микроэлементов, витаминов, аминокислот, а также жира и сахара [8, 17].

Качество кормления отражается на реализации генетически заложенном развитии животных, а также на развитии и функционировании таких систем организма как: органы дыхания и кровообращения, химический состав органов и тканей организма [34]. Для того чтобы животные хорошо росли и со временем давали максимальное количество продукции необходимо их не только достаточно, но и правильно кормить. При соблюдении этих условий ускоряется рост животных за более короткий срок, увеличивается их масса, что способствует экономии кормов [34]. Недостаточное и несбалансированное кормление, напротив значительно замедляет рост и развитие животного и увеличивает риск возникновения незаразных заболеваний [59].

Высоко породный скот быстро теряет свои продуктивные качества, если кормление не соответствует нормам, что в полной мере согласуется с мнением

академика М.Ф. Иванова: «Корма и кормление оказывает гораздо большее влияние на организм животного, чем порода и происхождение». [17]

Все соединения, входящие в состав кормов, принято определять по их элементарному составу, структурной организации и функциональным свойствам [49]. Наука агрономия благодаря активному внедрению новых сортов и современных знаний о росте и развития растений дает возможность значительно улучшить состав заготавливаемых в хозяйствах кормов. Это несомненно оказывает благотворное влияние на развитие животноводства, создание новых пород с более высокой продуктивностью, которые производят больше продукции при меньшей затрате кормов, за счет ускорения созревания животных [6, 17, 59, 51].

1.1.1 Минеральные вещества

Минеральные вещества играют важную роль в питании сельскохозяйственных животных. Они отвечают за формирование костной ткани, участвуют в обмене веществ, протекающих в организме. [8]. В разных кормах содержится различное количество минеральных веществ, однако в тканях и органах животных содержание минеральных веществ довольно постоянно. Такой механизм - гомеостаз является регуляторным. Однако такая регуляция, при длительном недостатке или избытке веществ в кормах и при интенсивном использовании животных нарушается и вызывает нарушение минерального обмена, который приводит в свою очередь к заболеваниям и снижению продуктивности [2]. Основными для нормальной жизнедеятельности организма макроэлементами являются кальций, фосфор, калий, натрий, хлор, сера, магний [34]. Ниже описаны основные их функции в организме.

Кальций – его главная роль в организме животных это формирование костной ткани. В то же время он участвует в процессе свертывания крови и нервной регуляции работы мышц. Кальций участвует в поддержании кислотно-щелочного равновесия в организме [8, 34,].

Фосфор – Отвечает за все процессы, связанные с ростом организма и продуктивностью взрослых особей. Фосфор входит в структуру нуклеиновых кислот, которые играют в организме роль носителей генетической информации, участвует в формировании иммунитета [8, 34].

Магний в организме животных тесно связан с кальцием и фосфором. Принимает участие в создании кислотно-щелочного равновесия и осмотического давления в жидкостях тканей, а также участвует в работе нервной мышечной систем [8, 17, 34].

Калий отвечает за процесс возбуждения нервной и мышечной тканей. Принимает участие в углеводном обмене. Поддерживает осмотическое давление и участвует в водном обмене [17, 34]. Калий влияет на активность ферментов и способствует улучшению перевариваемости и обмена питательных веществ [8].

Натрий участвует в водном обмене, поддержании осмотического давления в жидкостях тела. Определяет величину резервной щелочности плазмы крови и кислотно-щелочного состояния организма. Натрий является составной частью пищеварительных соков и поддерживает рН содержимого рубца [8, 49].

Хлор играет основную роль в желудочной секреции, являясь составной частью соляной кислоты, которая необходима для активации пепсина [17, 49].

Медь участвует в образовании гемоглобина. Такая реакция протекает только в присутствии железа. Ответственна за повышение мясной продуктивности [8, 49].

Передозировка солей меди или бесконтрольное их применение в качестве стимуляторов роста приводит к отравлению животных [49].

Таким образом, минеральные вещества являются обязательным компонентом кормов, необходимым для выращивания здоровых и плодовитых животных. Каждый из перечисленных выше элементов оказывает специфическое влияние на определенные группы животных. Для каждой такой группы требуется индивидуальный подход в выборе не только

препаратов с определенными минеральными веществами, но и применяемой дозы препарата. Недостаток или избыток определенного минерального вещества может оказать отрицательное влияние на здоровье животных. Поэтому надо придерживаться строго определенных норм, разработанных специалистами.

1.1.2 Витамины

Витамины не являются источником питательных веществ и прямо не участвуют в создании тканей и органов. Их роль в организме входит в состав ферментов, которые уже в свою очередь участвуют в усвоении поступающих с пищей белков, жиров, углеводов и солей. В настоящее время выделено и изучено более двадцати витаминов. Важнейшие из них – А, Д₂, Е, В₂, В₁₂, РР, пантотеновая кислота, холин и витамин К [6, 59, 17, 8, 34].

Витамин А (ретинол). Участвует в обмене белков и минеральных веществ. Участвуют в процессах, связанных с производством энергии в клетках [55]. Витамин влияет на окислительно-восстановительные процессы; влияет на развитие эпителия кожи, ресничного эпителия в дыхательной системе, пищеварительном тракте и половых органов; опосредованно участвует в передаче генетической информации [59, 17, 8, 34, 49].

Недостаток его в организме животных приводит к снижению продуктивности и повышенной гибели приплода в первые дни жизни [6, 8, 17, 34, 51, 49, 55, 59].

Витамин Д (кальциферол). Объединяет группу соединений, обладающих антирахитическим действием. Участвует в фосфорно-кальциевом обмене [8, 17, 59].

Отсутствие или недостаток витамина Д в организме вызывает у молодых животных заболевание рахитом, а у взрослых – остеомаляцию [8].

Витамин Е (токоферол). Обладает антиоксидантными свойствами для веществ из корма, препятствуя образованию ядовитых продуктов [6, 8, 17, 34, 49, 59]. Необходим для функции размножения и клеточного дыхания [35].

Витамин К (филлохинол). Витамин повышает свертываемость крови. При недостатке витамина К появляются подкожные и внутримышечные кровоизлияния, кровотечения у новорожденных и животных после операций [8,17, 34, 49, 55].

Витамин В₂ (рибофлавин). Входит в состав окислительных ферментов, способствуя формированию и распаду жирных кислот. Он участвует в поддержании функций зрения, половой и нервной систем производстве гемоглобина [8,17, 34, 49].

При недостатке витамина у взрослой племенной птицы снижается яйценоскость. Птенцы вылупляются слабыми. [6].

Витамин В₃ (пантотеновая кислота). Это витамин, который профилактирует заболевание пеллагрой и регулирует жировой обмен в организме. [1, 8, 34, 49, 55,].

Витамин В₄ (холин). Необходим для формирования важнейших составляющих тканей [27]. У поросят наблюдается снижение гибкости суставов и нарушение координации движения. У молодняка птиц отмечается плохой рост, также наблюдаются проблемы с суставами [6, 17, 8, 34, 49, 59].

Витамин В₅ (РР, никотиновая кислота). Никотиновая кислота также регулирует окислительно-восстановительные процессы и обмен углеводов, жиров. Участвует в работе нервной, сердечно-сосудистой и пищеварительной систем [8, 17, 34, 49, 55].

Витамин В₁₂ (цианкобаламин). Витамин участвует в процессе синтеза аминокислот, в жировом и углеводном обменах в организме. Является незаменимым фактором роста и размножения животных [55].

Результаты новейших исследований [27] показывают, что для восполнения жизненно важных элементов следует применять, как монопрепараты (один-два химических элемента), так и комплекс макро- и микроэлементов с учетом их взаимодействия.

Включение премиксов в комбикорма балансирует и повышает качество кормов. Данные смеси изготавливаются на заводах, по индивидуальным

рецептурам, в зависимости от потребностей рационов в хозяйствах (рисунок 1) [3].



Рисунок 1 – Промышленная упаковка премикса

Таким образом, витамины тоже играют в жизнедеятельности животных. Поэтому, как и минеральные вещества, использование витаминов для подкормки животных требуют индивидуального подхода. Прежде чем назначать какие-либо витамины животным, необходимо тщательно изучить причины, вызвавшие отклонения от нормального развития этих животных. В процессе подкормки животных необходимо поддерживать тщательных контроль за состоянием здоровья животных. При ухудшении состояния необходимо прекратить подкормку до выяснения причин этого. И только убедившись, что причинами ухудшения здоровья животных являются другие

факторы, возобновить подкормку данными витаминами. В любом случае необходимо придерживаться рекомендаций специалистов.

1.2 Технологические машины производства премиксов и требования к их прочности

Премиксы представляют собой смесь биологически активных веществ, разбавленных наполнителем. Производство премиксов на АО «Витасоль» осуществляется на автоматической линии (рисунок 2). Конфигурация и компоновка линии были разработаны Воронежским НИИКП.

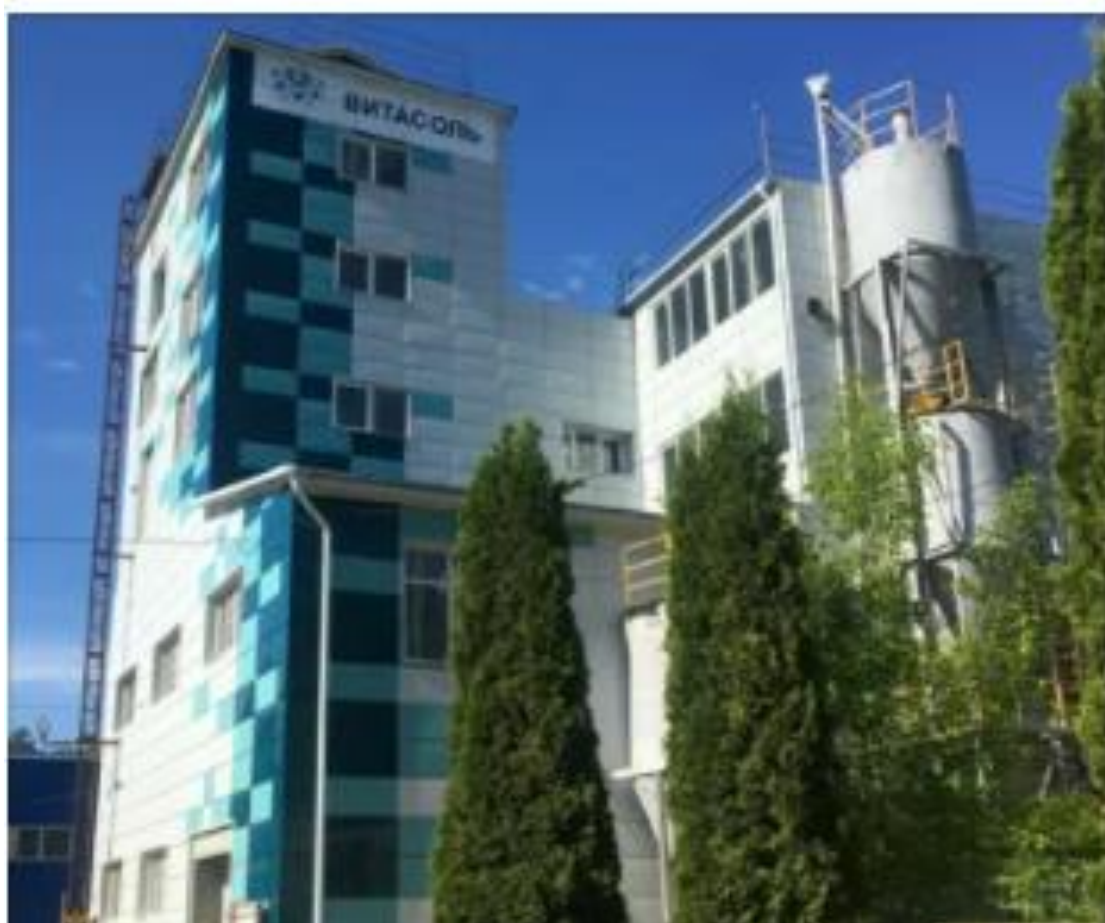


Рисунок 2 – Здание цеха АО «Витасоль» с автоматической линией

Промышленное производство премиксов- сложный технологический процесс, который включает следующие этапы: подготовку и подачу наполнителя, дозирование и ввод макро- и микрокомпонентов, смешивание, фасовка [33, 40, 45, 52, 53, 58].

1.2.1 Основные технологические операции

Подготовка и подача наполнителя. Выбор наполнителя очень важен, в связи с тем, что от наполнителя зависит смешиваемость, однородность готовой продукции и сохранность биологически активных веществ, которые налипают на частицы наполнителя [62]. Кроме того, необходимым качеством, которым должен обладать наполнитель является его нейтральность. Отруби как нельзя лучше соответствуют всем этим качествам. Сейчас, в состав наполнителей также вводят известняковую муку, карбонат кальция и другие [4]. Однако практический опыт работы по производству премиксов в течении более чем четверти века показал, что оптимальным нейтральным наполнителем являются отруби [37, 60]. В процессе производства отруби необходимо дробить, для получения необходимой величины частиц, обладающих способностью удерживать на своей поверхности максимальное количество биологически активных веществ. Если брать порошкообразный наполнитель, то он будет обладать плохой сыпучестью и комковаться. Для лучшего смешивания плотность наполнителя выбирается наиболее близкой к плотности биологически активных веществ [61]. В процессе производства отруби хранятся в бункерах/ силосах. Перед смешиванием они проходят процесс измельчения, который проходит в дробилках. Отруби дробятся до крупности частиц 1.2 мм, что проверяется их просеиванием через сито с отверстиями данного диаметра [5, 24]. Для обеспечения правильного выполнения рецепта производственная линия управляется производственной программой, что позволяет свести к минимуму ошибки при навешивании компонентов, а также задать последовательность внесения компонентов.

Программа имеет электронный журнал, где отображается все внесенное сырье, так же на схеме линии на экране можно видеть работу устройств с нагрузкой в процентах и амперах. Работа линии возможна как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Все операции производства контролируются с помощью этой производственной программы (рисунок 3). Сырье подается питателем в дробилку, проходя предварительно через магнитную колонку, что исключает попадание в готовый продукт металлических частиц. При нагрузке на дробилку более 102% питатель отключается. Процесс дробления других компонентов премикса, если необходимо, также осуществляется в дробилке, поэтому от производительности дробилки зависит скорость приготовления рецепта.

Движение сырья на линии организовано по классической схеме - сверху вниз. Сырье автоматически подается, согласно регламенту. Так при смешивании в процессе производства в первую очередь в смеситель подают измельченный наполнитель, а затем биологически активные вещества [33, 35].

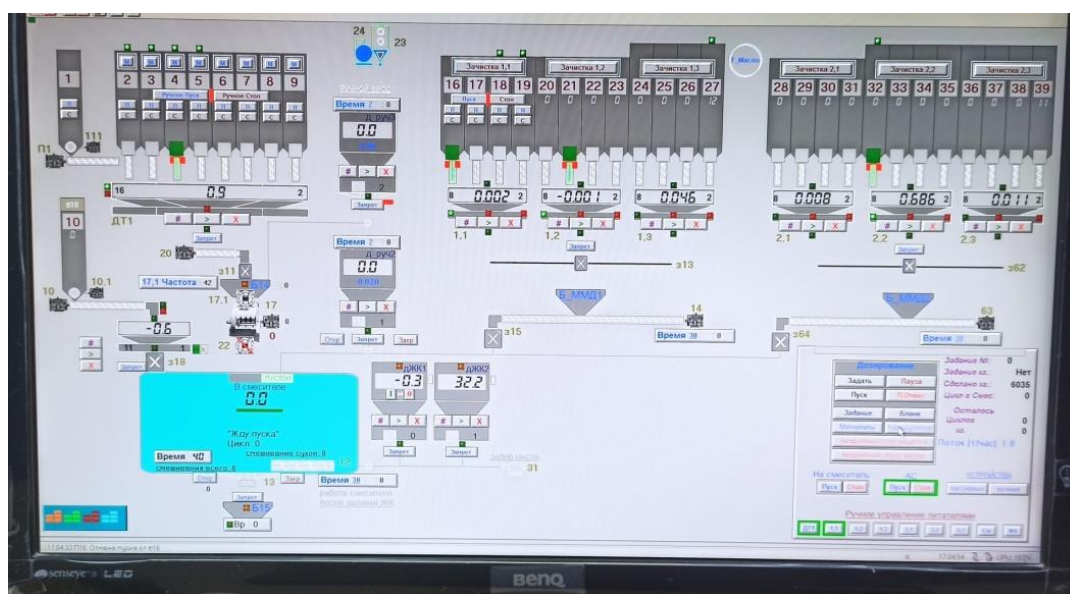


Рисунок 3 – Экран оператора с производственной программой

Взвешивание и ввод макро- и микрокомпонентов компонентов.

Взвешивание сыпучих компонентов важная операция для приготовления в требуемых соотношениях смесей. Использование весового электронного оборудования обеспечивают точное выдерживание рецептуры, исключает субъективные ошибки [36, 39].

Все сырье проходит входной контроль в собственной лаборатории при поступлении на предприятие, после чего каждому виду присваивается уникальный штрих код. Вся информацию о сырье можно получить, сканируя этикетку со штрих-кодом, которую наклеивают на упаковку. Поэтому же уникальному штрих коду можно отследить все дальнейшее движение сырья.

На линии имеются модули дозирования с бункерами, в которые засыпают необходимые для производства премиксов компоненты. Дозаторы оснащены шнеками с разным шагом витков по всей длине для более точного дозирования.

Модуль дозирования разделен на три группы бункеров в зависимости от точности взвешивания:

- первая группа позволяет взвешивать компоненты с точностью до 200 г;
- вторая - с точностью до 10 г;
- и третья - с точностью до 2 г.

Для затаривания бункеров используется весовой модуль со сканером позволяющий как вести учет сырья, так и предотвратить ошибочное попадание продукта в бункер. Крышки бункеров открываются только после сканирования штрих-кодов на упаковке сырья и подтверждения программой соответствия засыпаемого сырья фактическому, которое должно быть внесено в премикс, согласно производственному рецепту в программе [53, 57] (рисунок 4).

В процессе производства необходимое количество каждого компонента взвешивается и вносится автоматически, в количестве соответствующему введённому в программу рецепту. Вес вносимого компонента контролируется с помощью весов на тензодатчиках [40].



Рисунок 4 – Крышки бункеров сырья на линии

Смешивание. Для получения однородной смеси готового премикса используют смеситель. Смесители бывают разной конструкции и разных объемов, в зависимости от производительности и продуктов, которые будут в них смешивать. Они бывают винтовыми и лопастными [28]. По сравнению с винтовыми смесителями лопастные имеют более высокую производительность за счет сокращения времени смешивания, которое достигается техническими особенностями. За счет этого, возможно,

сокращения общего времени цикла смешивания, что позволяет выпускать больше готовой продукции [42-44].

На автоматической линии АО «Витасоль» используется смеситель лопастной двухвальный, позволяющий получить высокий процент смешиваемости компонентов премикса. Валы с лопатками вращаются навстречу друг другу, создавая псевдокипящую зону в центре смесителя, лопасти имеют прямоугольную форму со скругленной верхней кромкой. Это движение частиц продукта относительно друг друга по сложным траекториям способствует эффективному и качественному смешиванию компонентов различной объемной массы и обеспечивает получение однородной смеси за короткий промежуток времени.

Для хорошего смешивания компонентов премикса необходимо строго соблюдать очередность подачи их в смеситель: сначала наполнитель, предварительно дробленный до необходимого размера частиц, затем макро- и микрокомпоненты. Длительность смешивания не должна превышать 3 минуты [27, 60]. Такое время позволяет максимально большому количеству активных компонентов покрыть частицы наполнителя, что сказывается на смешиваемости.

Смеситель снабжен бомболюками, открывающимися по всей длине без карманов и зон залегания, через которые продукт полностью выгружается в течении нескольких секунд. Форма смесителя в виде двух совмещенных цилиндров, в которых вращаются два вала с лопатками не оставляют мертвых зон, благодаря этому при переходе с рецепта на рецепт в смесителе не остается продукта. Налипание продукта на внутренние поверхности корпуса устраняется лопастями.

Фасовка и упаковка готовых премиксов. После смешивания премикс выгружается в растарочный бункер, из которого подается при помощи автоматического дозирующего аппарата и расфасовывается в бумажные

многослойные мешки. Вес готового продукта в мешке задается с помощью ввода необходимых данных и контролируется автоматическим дозатором [28], дополнительно вес каждого десятого мешка проверяется взвешиванием на контрольных весах.

Таким образом, основные технологические операции включают в себя: взвешивание и ввод макро- и микрокомпонентов компонентов, смешивание, фасовку и упаковку готовых премиксов. Для того, чтобы получить качественный продукт на выходе необходимо, во-первых, иметь качественные исходные компоненты, во-вторых, строго придерживаться технологических процентов производства премиксов на каждом этапе производства. Кроме того, большое значение имеет правильная работа оборудования. Ниже рассмотрим требования к используемому оборудованию.

1.2.2 Требования к оборудованию

Для выявления наиболее часто меняемых расходных материалов, влияющих на производственные затраты, был проведен анализ [58]. В результате анализа записей отдела главного инженера по обслуживанию производственного оборудования, были выбраны молотки в молотковой дробилке.

Рассмотрим процесс измельчения продукта в дробилке. Сначала на частицы продукта в дробилке действуют процессы, которые вызывают в его частицах пластические и упругие деформации. В течении этих процессов связи молекулярного сцепления в частицах ослабевают, и частица распадается. Так в процессе дробления из частицы получается несколько более меньшего размера. При этом увеличиваются расход энергии для пластических и упругих деформаций, которые в свою очередь увеличивают выделение тепловой энергии. Все это приводит к росту температуры дробящегося продукта. [18- 20, 23- 26, 28].

При дальнейшем дроблении для еще большего уменьшения диаметра дробящихся частиц увеличивается время дробления, что приводит к резкому

росту расхода электроэнергии. Поэтому на практике рассчитывают необходимое время для дробления продукта до необходимого размера частиц и быстрого его выведения из машины. Это прописывают в регламентах/руководствах, которые следует соблюдать. В противном случае нарушение приводит к увеличению затрат на электроэнергию, снижению производительности машин и ускоренному изнашиванию деталей оборудования [45, 52].

При выборе методов дробления ориентируются на твердость и величину частиц. По этим данным подбирают регламенты по измельчению и сами измельчающие машины. Самыми распространёнными на практике методами измельчения твердых частиц являются удар и раздавливание [32].

При выборе дробильных машин опираются на нижеописанные условия: [18]:

- однородность измельчения разных продуктов;
- возможность быстрого удаления готового измельченного до необходимых частиц продукта из рабочей;
- возможности изменения размера дробленых частиц в процессе работы машины;
- непрерывность всего процесса и автоматическая загрузка, и разгрузка машин;
- легкость в замене сломанных деталей машины;
- конструкция, обеспечивающая минимум пылевыделения в окружающее пространство;
- экономный расход электроэнергии.

Существуют дробилки разных типов. Все они в большей или меньшей степени отвечают вышеуказанным требованиям [18]. Каждый вид более подходит под определенный вид продукта (кормов) и технологию производственного процесса. Тем не менее из всех имеющихся в настоящее

время дробильных машин наиболее подходят под все эти требования дробилки молотковые [62].

На предприятии используется молотковая дробилка ДМ-10 (рисунок 5). Молотковые дробилки – это универсальные измельчающие машины, способные дробить различные виды сырья, используемые на премиксных заводах. Они работают эффективно как на размоле частиц сырья до крупного размера, так и на размоле частиц до мелкого размера и при этом незначительно нагревают продукт. Это достигается высокой производительностью данного вида дробилки.



Рисунок 5 – Дробилка молотковая ДМ-10

Устройство молотковых дробилок более простое, чем других видов, что дает возможность легко обслуживать дробилку данного вида [47].

Основными рабочими органами молотковой дробилки являются молотки, сито и дека [46].

Расположение молотков. Молотки в барабане дробилки располагаются на 4-х осях. На этих осях свободно вращаются по 16 молотков вокруг собственной оси вращения. Крупность размола сырья регулируется временем работы и диаметром отверстий сита [27].

В комбикормовой промышленности используют дробилки с пластинчатыми молотками прямоугольной формы. Их основным преимуществом является простота изготовления такой формы по сравнению с другими типами молотков. Данная форма также позволяет максимально использовать рабочую поверхность молотка. [32].

Процесс измельчения происходит следующим образом. Измельчаемый продукт поступает в приемное устройство дробилки, а оттуда питающим валком подается в рабочую зону дробилки. Попадая в рабочую зону продукт подвергается воздействию молотков, которые разрушают его частицы до меньших размеров и отбрасывают частицы на рифленую деку. Отрекаштив от нее, частицы вновь попадают под действие молотков, такие действия придают измельченному продукту вращательное движение относительно ситовой обечайки. Измельченные частицы, величина которых меньше размеров отверстий сита, проваливаются через него и подаются дальше по линии [18].

Со временем края молотков начинают истираться и зазор между краями молотков и ситовой поверхностью увеличивается. Это приводит к увеличению слоя дробящегося продукта. Слой продукта становится более разряженным и ударное воздействие молотков на частицы продукта уменьшается. При уменьшении зазора слой продукта снова уплотняется, улучшаются условия для деформации, среза и сжатия под действием удара, что способствует большей эффективности измельчения [27]. При этом при увеличении зазора и

разряжению потока увеличивается время дробления и снижается производительность.

Согласно исследованиям, с увеличением производительности дробилки удельные затраты энергии снижаются. Например, при увеличении производительности с 370 кг/ч до 670 кг/ч удельный расход энергии уменьшается на 30 % [23].

1.3 Основные механизмы износа металлических материалов

Согласно ГОСТ 27674–88 [9], изнашивание – это процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров или формы тела. Процессу изнашивания подвергаются поверхности деталей в узлах механизмов в процессе их работы.

Виды и характеристики изнашивания. Механическое изнашивание является наиболее распространенными и появляется при механическом воздействии. Ниже приведены основные виды механического изнашивания в зависимости от характера механического воздействия [9] (рисунок 6).

Абразивное изнашивание – изнашивание, которое возникает при воздействии абразивных частиц, оказывающих царапающее или режущее воздействие на поверхность при ударе на скорости [50].

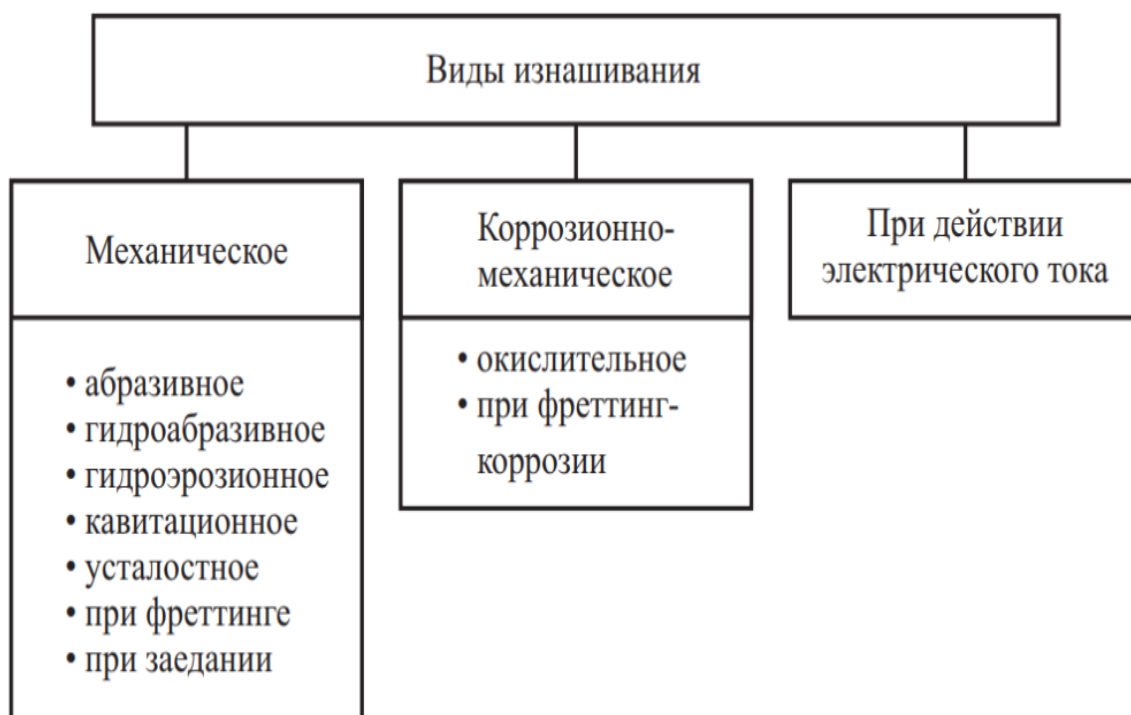


Рисунок 6 – Виды изнашивания

Гидро- и газоабразивное является частью абразивного изнашивания, где абразивные частицы, оказывающие воздействие на поверхность, содержатся в газах или жидкостях [7].

Усталостное изнашивание в свою очередь приводит к возникновению трещин и отделению частиц с поверхности в результате повторного деформирования материала [50].

Кавитационное изнашивание поверхности происходит в жидкостях [22].

Адгезионное изнашивание – изнашивание, которое происходит в момент царапания поверхности и столкновении с твердой частицей поверхности, в результате чего происходит перескок абразивной частицы и сопровождающемся глубинным вырыванием частиц из этой поверхности. [41].

Изнашивание при фреттинге - механическое изнашивание, которое появляется в процессе взаимодействия тел с колебательными движениями [21].

Коррозионно-механическое изнашивание появляется в процессе механического взаимодействия тел при дополнительном воздействии химической или другой среды [13].

Окислительное изнашивание – коррозионно-механическое изнашивание, появляется в присутствии кислорода в среде и его окислительном воздействии на поверхность [22].

Изнашивание при фреттинг-коррозии – коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных перемещениях [12].

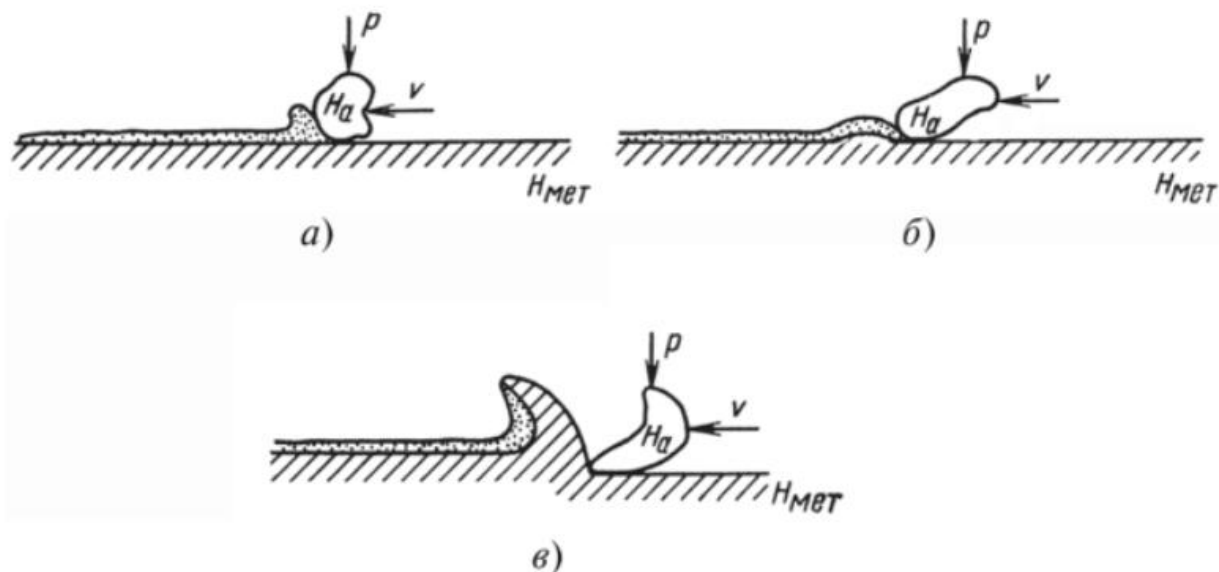
Электроэрозионное изнашивание – эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия электрического тока.

Ниже перечислены основные факторы, которые влияют на скорость изнашивания [9]:

- окружающая среда (воздух, жидкость, газ, почва и т. п.);
- вид контакта при трении (точка, линия, плоскость, цилиндр, сфера);
- характер движения деталей (непрерывное, и т. д.);
- вид движения (вращательное, поступательное, возвратно-поступательное);
- характер нагрузки (постоянная, неустановившаяся, знакопеременная);
- величина нагрузки;
- скорость перемещения трущихся поверхностей;
- температурные условия.

Способность абразивного зерна вдавливаться в поверхность зависит не только от соотношения их твердостей, но и от геометрической формы зерна [50] (рисунок 7).

Так, зерно с 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 твердости материала самой поверхности [22].



а - при коррозионно-механическом изнашивании; б - при пластическом отеснении;
в - при микрорезании.

Рисунок 7 – Виды взаимодействия поверхности детали с абразивной частицей

При твердости абразивной частицы, превышающей твердость поверхности детали (на $\sim 1,7 H_{мет}$), происходит пластическое отеснение материала поверхности (рис.7, б). Пластическое отеснение переходит в микрорезание, если частица воздействует на поверхность своей острой гранью, (рис.7, в) [7].

Нижеописанной формулой (1) определена зависимость между твердостью материала поверхности, определяющей его износостойкость и твердостью абразивных частиц:

$$H_m > 0.8 \cdot H_a , \quad (1)$$

где H_m – твердость материала детали;

H_a – твердость абразивных частиц сырья.

Рассмотрим еще вариант трения скольжения. При таком типе частицы входят в контакт с поверхностью детали по касательной. Ниже описаны два вида взаимодействия частицы с поверхностью [21]:

- абразивные частицы упруго деформируют металл, оставаясь целыми или разрушаясь;
- в зависимости от структуры абразивного материала его зерна могут вдавиться в поверхность или отскочить. Абразивная частица вдавливается в поверхность, если обладает большей твердостью.

Установлено, что относительная износостойкость чистых металлов находится в линейной зависимости от микротвердости [21]. При одной и той же твердости износостойкость сплавов меньше, чем у чистых металлов.

Такая же зависимость износостойкости от твердости наблюдается у термически необработанных сталей и чистых металлов. Износостойкость сталей возрастает после закалки и отпуска с увеличением твердости по линейному закону.

Процесс разрушения детали при ударном взаимодействии между деталью и абразивом называют ударно-абразивным изнашиванием [9, 50]. На ударно-абразивное изнашивание влияет природа и геометрическая форма, твердость испытуемого материала, хрупкость абразивных частиц и энергия удара. При абразивном изнашивании без ударного взаимодействия поверхности трения покрываются царапинами, расположенными параллельно движению частиц. Для ударно-абразивного изнашивания характерно образование на поверхности трения лунок в результате локальной пластической деформации металла [50]. У пластичных материалов поверхность наклепывается, и частицы от нее отрываются. У твердых материалов происходит хрупкое выкрашивание [22].

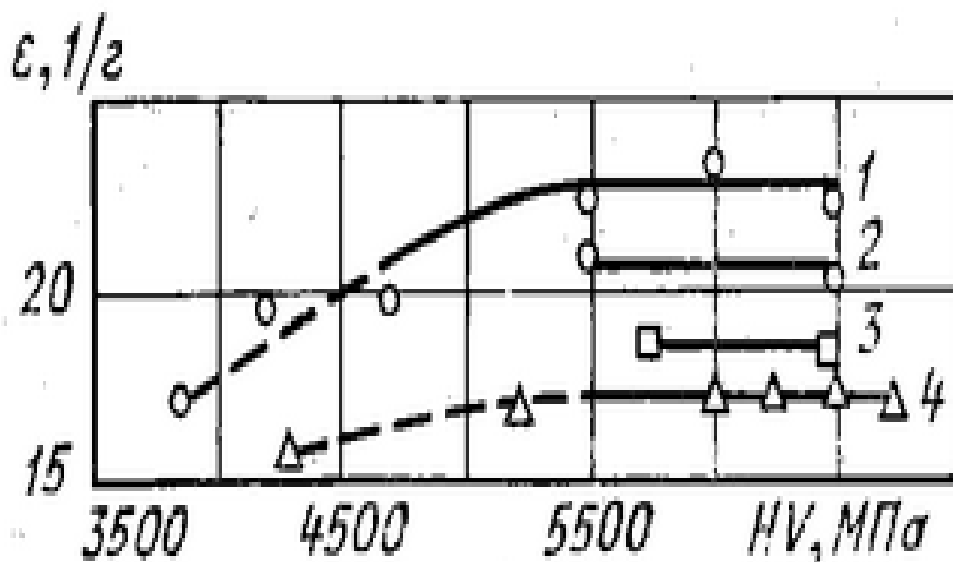
При ударно-абразивном изнашивании износостойкость углеродистых сталей зависит не только от твердости, но и от состава и структуры стали [21]. Максимальной износостойкостью обладают сталь, содержащие 0,7 %

углерода. При содержании углерода менее 0,7 % стали подвергаются пластической деформации и больше изнашиваются, в результате хрупкого выкрашивания. Чем сильнее удар, тем больше влияет содержание углерода на износостойкость стали [22].

Весь процесс изнашивания поверхности можно описать следующим процессом: при столкновении поверхности и фиксированной частицы появляется царапина. Если отношение глубины внедрения абразивной частицы в металл к радиусу закругления частицы достигает определенного критического значения, то царапание сопровождается отделением продуктов изнашивания, т.е. пластическое отеснение переходит в микрорезание [50].

Абразивное изнашивание является одним из наиболее быстропротекающих процессов разрушения рабочих поверхностей деталей при трении [50].

Для дальнейшего анализа зависимости износостойкости от твердости и энергии удара можно рассмотреть на примере стали 45, поскольку она такая же, как и для других углеродистых сталей (рисунок 8) [21].



Дж: 1-10; 2- 20; 3-25; 4-30

Рисунок 8 – Связь износостойкости стали 45 с твердостью при различной энергии удара [21]

Из этого видно, что экономически целесообразно не увеличивать твердость абразива более чем в одну целую и три десятых раза по сравнению с твердостью материала [10].

Изнашивание также зависит от разных факторов: в одном процесс изнашивания определяется нагрузками и факторами окружающей среды, в другом - химическим составом деталей и условиями термической обработки [12].

Газоабразивное изнашивание – это изнашивание в результате взаимодействия твердых частиц, содержащихся в газе и поверхностей деталей [50].

Нижеописанная формула (2) описывает интенсивность газоабразивного изнашивания [12]:

$$J = K \cdot v^m \quad (2)$$

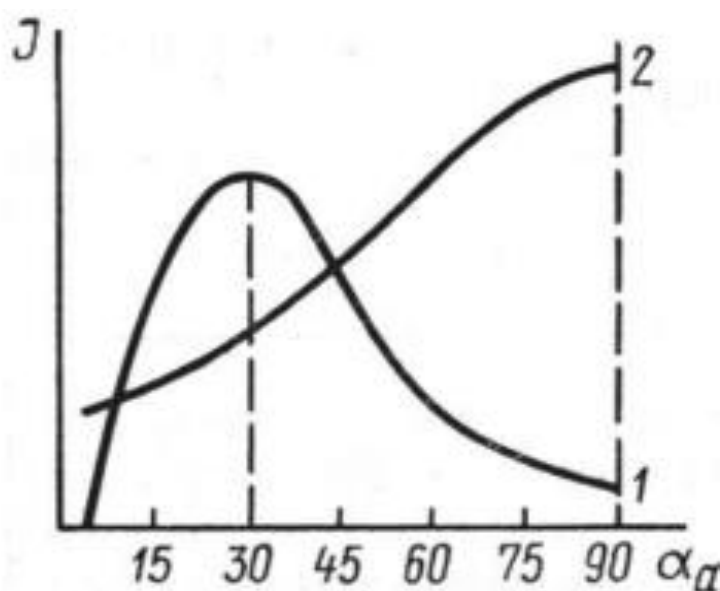
где K — коэффициент, зависящий от свойств абразива и параметров потока газа;

v — скорость потока, м/с;

m — показатель степени, зависящий от материала детали.

Скорость газоабразивного изнашивания зависит от следующих факторов, таких как размер и форма абразивных частиц и их твердости. Закономерно, что при увеличении вышеобозначенных параметров скорость газоабразивного изнашивания возрастает. Она так же зависит от направления абразивных частиц относительно поверхности- углом атаки α_a , движения и скорости газового потока с абразивными частицами [14].

При анализе процессов, происходящих в поверхности деталей, при воздействии абразивных частиц видно, что при малых углах атаки абразивных частиц - повреждение материала происходит вследствие среза и отрыва частиц с образованием коротких царапин (рисунок 9) [32].



1 — для хрупких материалов; 2 — для пластичных.

Рисунок 9 – Зависимость интенсивности газоабразивного изнашивания от угла атаки α_a абразивных частиц [14]:

У пластичных материалов с невысокой твердостью интенсивность изнашивания выше, у твердых, но хрупких материалов. У пластичного вида материалов изнашивание растет с ростом угла удара частиц, вплоть до увеличения угла атаки α_a до девяноста градусов [14].

Твердые хрупкие материалы выдерживают удары абразивов только до угла атаки сорока до пятидесяти градусов и при дальнейшем увеличении угла атаки до девяноста градусов происходит хрупкий излом выступов микронеровностей поверхности, как показано на графиках рисунка [21]. Скорость газоабразивного изнашивания поверхностей из твердых материалов сильно зависит от высоты этих микронеровностей и ориентации выступов к отношению к направлению воздействия потока [50].

Газ, в котором происходит перемещение абразивных частиц относительно поверхностей деталей, оказывает разупрочняющее действие на поверхностный слой материала [21]. В зависимости от угла атаки потока определяется рельеф поверхности от воздействия частиц сила воздействия (рисунок 10).

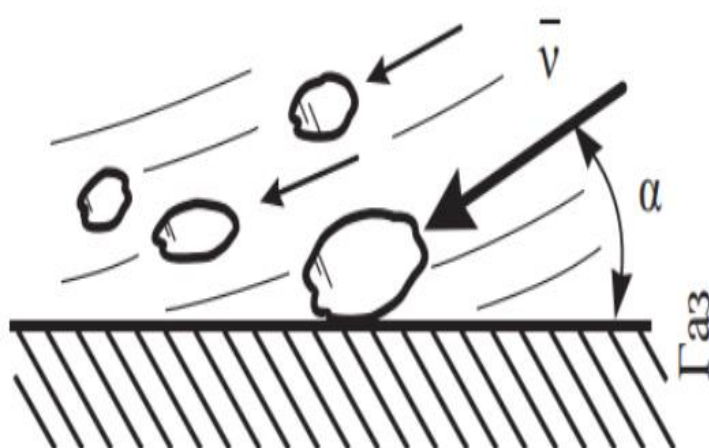
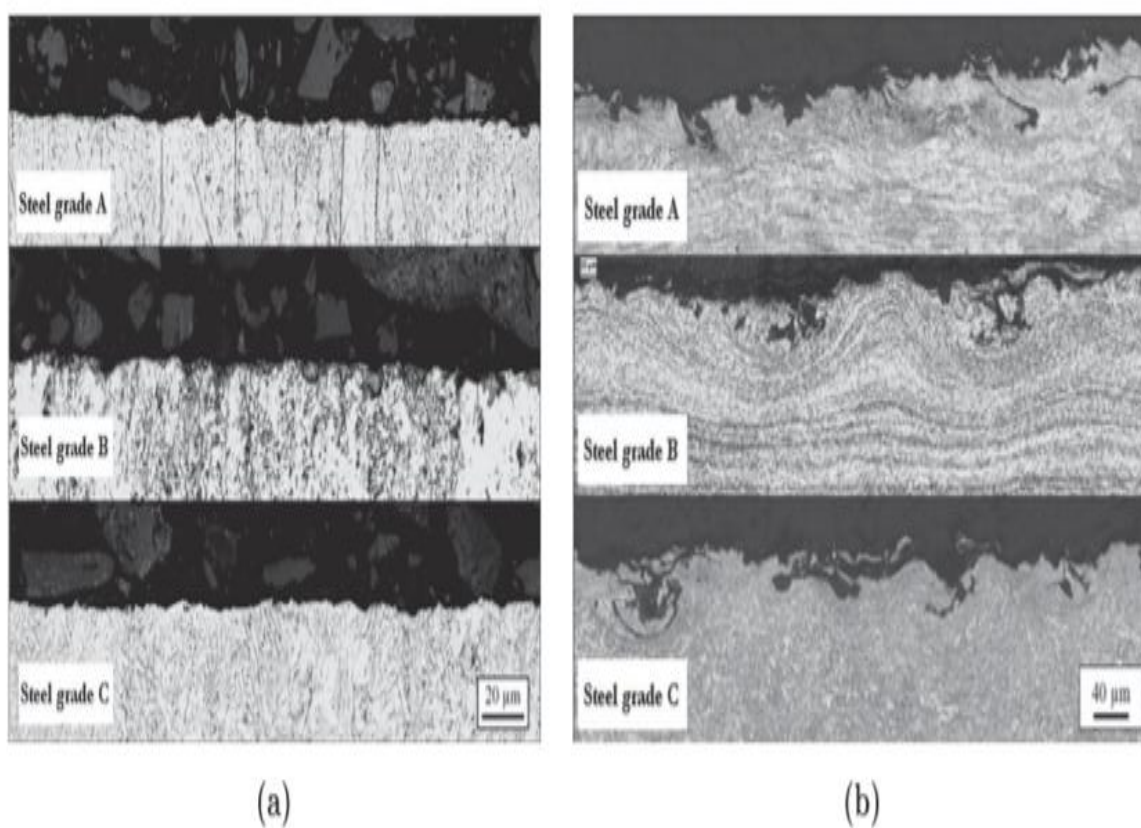


Рисунок 10 – Схема газоабразивного изнашивания. Угол атаки α — это угол наклона вектора скорости абразивной частицы к поверхности детали

На рисунке 11 показаны основные отличия, происходящие в подповерхности материала при абразивном износе двух поверхностей и ударном истирании [22]. Микроструктура абразивной поверхности при ударном истирании приводит к деформации под поверхностью. На поверхности абразивного износа не видно смещения или кратеров, как в случае ударного истирания.



Сталь А, содержащая 0,03 мас. % С при 190 VHN,
 сталь В, содержащая 0,17 мас. % С при 320 VHN,
 сталь С, содержащая 0,19 мас. % С при 390 VHN.

Рисунок 11 – Микроструктуры изношенной подповерхности марок стали, исследованных при (а) истирании двух тел и (б) ударном истирании [48]

На рисунке 11 (б) показано изменение поверхности при ударном истирании, которое сопровождается деформациями в поверхности и даже наличие абразивных частиц, внедрившихся при ударах. [54].

При сравнении износостойкости чистых металлов и сплавов выявлена следующая закономерность: при абразивном изнашивании износостойкость имеет прямую зависимость от твердости материала, в то время как в сплавах эта зависимость может не наблюдаться. [10].

При изучении данного вопроса показано, что возможность повышения твердости материала разными способами тем не менее не всегда положительно влияет на износостойкость материала при абразивном износе (рисунок 12).

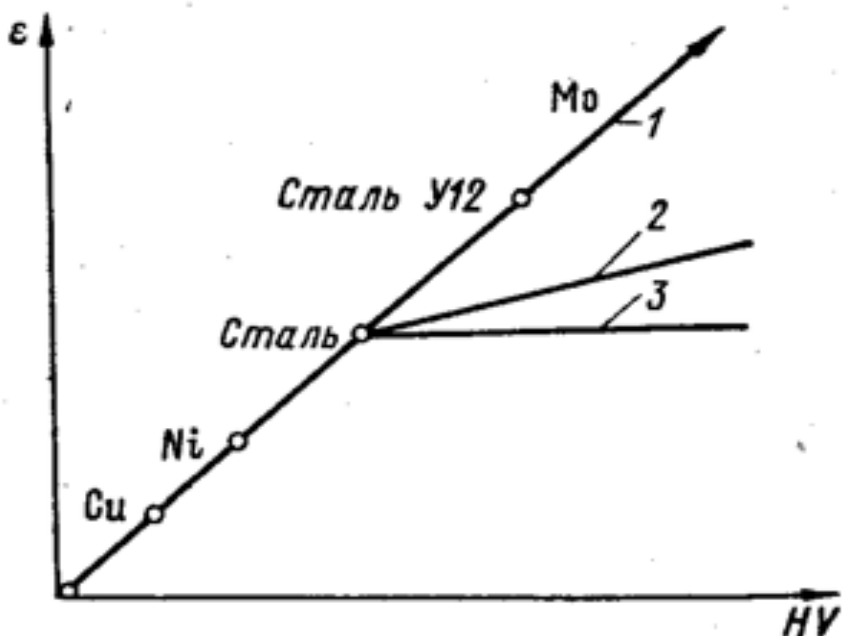
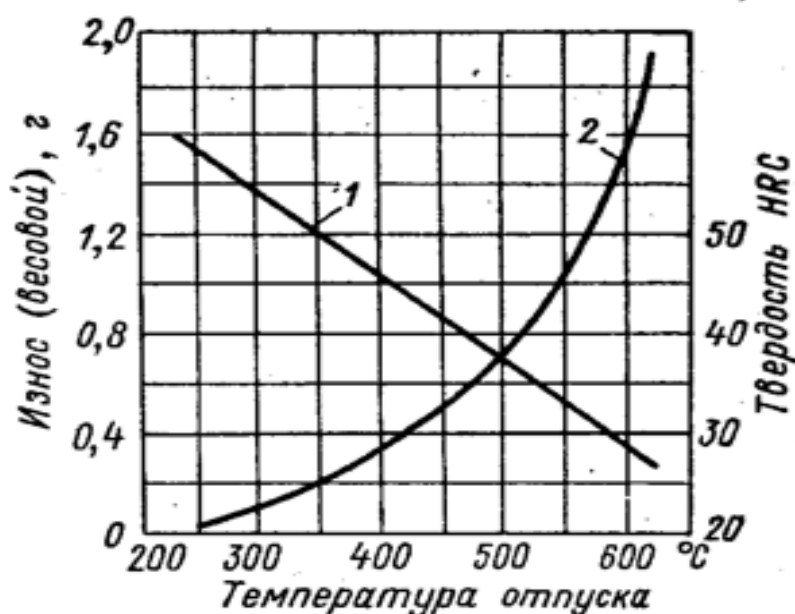


Рисунок 12 – Влияние твердости металлов и сплавов на их относительную износостойкость при абразивном изнашивании

Повышение твердости путем применения более твердых материалов без термической обработки увеличивает износостойкость пропорционально твердости (прямая 1 на рис 12). Увеличение твердости за счет термической обработки сталей повышает износостойкость, но в меньшей степени (кривая 2). Увеличение твердости за счет наклепа не сказывается на повышении износостойкости (кривая 3).

Однако повышение твердости стали только за счет изменения химического состава недостаточно для обеспечения требуемой износостойкости деталей. Поэтому в зависимости от условий работы детали в процессе изготовления подвергаются различной термической или химико-термической обработке, добываясь тем самым необходимой (различной) твердости и износостойкости [41] (рисунок 13).

Из всех закалочных структур наиболее высокой износостойкостью отличается мартенсит [21].



1-твердость; 2-износ.

Рисунок 13 – Зависимость износа среднеуглеродистой стали от температуры отпуска.

Существует мнение, что начальной стадией разрушения металла при абразивном изнашивании является образование микротрещины, которая в процессе пластической деформации развивается в макротрещину с отделением микрообъема металла. Однако этого мнения не подтверждают другие исследователи [21], установившие независимость относительной

износостойкости от числа дефектов, поскольку последние связаны с дислокационным механизмом.

Из исследований видно, что остаточные напряжения не влияют на износостойкость, в то же время нагружения, вызывающие напряжения оказывают существенное влияние на сопротивления металла изнашиванию [11].

На рисунке 14 показана линейная зависимость абразивной износостойкости E от твердости HV . Где $E = C - HV$ (где C — это коэффициент, характеризующий физико-механические свойства материала). В данном случае относительную износостойкость образца сравнивают с эталоном.

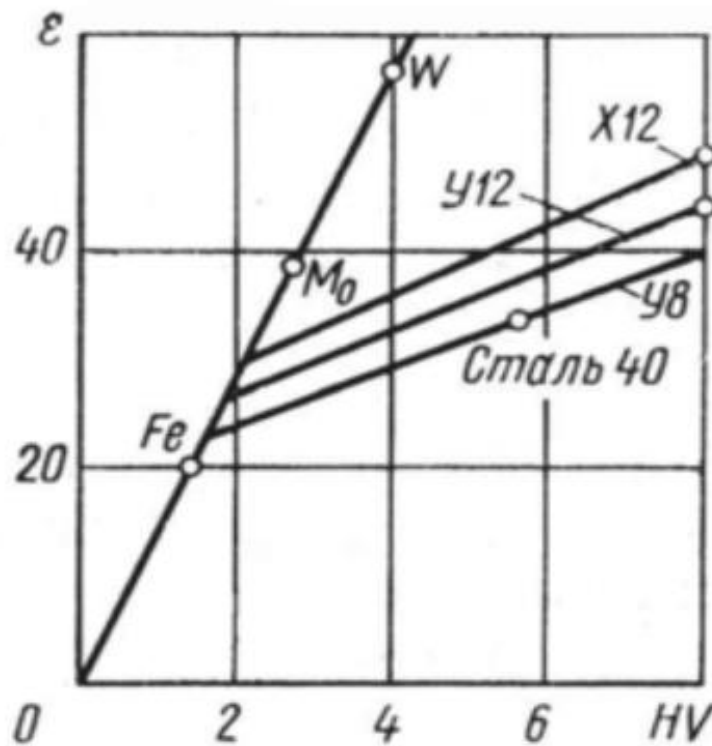


Рисунок 14 – Зависимость относительной износостойкости металлов и сплавов от их твердости при абразивном изнашивании

Увеличение твердости в результате применения более твердых металлов (но не за счет их термообработки) увеличивает и износостойкость материала [21]

При сравнении износостойкости материала в зависимости от его твердости обнаружен линейный вид, который в основном характерен для условий трения (сильный нагрев поверхности и разрушение абразивных частиц и др.). На практике же абразивные частицы подвижны, в связи с чем они образуют на поверхностях царапины, происходит упругопластическое деформирование поверхностного слоя и возникает усталостное разрушение поверхностей [48].

Данный рост износостойкости в зависимости от увеличения твердости также характерен и для термически обработанных сталей, но в меньшей степени. Следует принимать во внимание при увеличении износостойкости каким способом увеличена твердости материала, например, за счет изменения химического состава металла и сплава, за счет термообработки или путем наклепа [11].

Согласно исследованиям [21], износостойкость меняется при этом методе с изменением концентрации сплава не так, как при воздействии закрепленным зерном. Например, упрочнение при старении дюрала он обнаруживает, что не выявляется изнашиванием о жестко закрепленное зерно. Основным фактором, отражающим абразивную способность высокотвердого зерна, является острота режущих выступов зерна, характеризуемая величиной среднего радиуса закругления этих выступов.

Износостойкость сплавов определяется не только твердостью, но и их структурой. Однако именно структура не является важнейшим критерием, определяющим износостойкость, например, твердость напротив более важна [21].

Стали аустенитного класса на марганцовистой основе имеют тенденцию к образованию трещин при нагревании и давлении. Они отличаются плохой свариваемостью, но при медленном охлаждении и отпуске при 300—400 °С структура стали переходит в мартенсит. После охлаждения и отпуска сталь отличается высокой износостойкостью [41].

У износостойких сталей обеспечивает высокую износостойкость содержание твердых карбидов М, Сз (HV 1500) до 18— 24% от объема. Эта износостойкость работает в условиях изнашивания как по металлу, так и, по абразивным материалам при нагреве не выше 300—400° С [3

Однако при ударно-абразивном изнашивании методы поверхностного упрочнения стали цементированием и азотированием не подходят. В этих случаях поверхностные слои выкрашиваются под ударами абразивов из-за высокой хрупкости [16]. Трещины зарождаются так же и на границе слоев основного металла и упрочненного слоя. Так при определенных условиях нагружения износостойкость твердых сплавов оказалась даже ниже, чем у стали 45.

Твердые сплавы. Высокими твердостью и износостойкостью обладают композиционные материалы — твердые сплавы (ГОСТ 3882-74 [12], ГОСТ 26530-85 [13]), состоящие из частиц тугоплавких соединений в основном карбидов, переходных металлов и связки, чаще всего кобальтовой.

Рассмотрим так же исследование стали для применения в промышленности с абразивными и ударно-абразивными условиями. Стали были подвергнуты испытаниям на износ. Результаты показали, что в обоих исследованных условиях износа лучше всего показала себя мартенситная сталь из-за ее более высокой начальной твердости. Тем не менее, преимущество производительности этой стали было меньше в шламовом баке, чем в испытаниях СРОД. С другой стороны, ТРИП-сталь показала плохие результаты в испытаниях с дроблением штифта на диске, но превзошла стали

QR и стали с более низким содержанием бейнита в испытаниях в шламовых ваннах [56].

1.4 Сталь 30ХГСА для производства молотков дробилки ДМ-10

В настоящее время для производства молотков дробилки ДМ-10 используют сталь 30ХГСА. Сталь марки 30ХГСА (таблица 1) – высококачественная конструкционная среднелегированная сталь, которая преимущественно используется в состоянии после термической обработки.

Таблица 1 – Химический состав стали 30ХГСА в соответствии с ДСТУ 7806/ ГОСТ 4543, % по массе [15]

C	Si	Mn	S	P	Cr
0.28-0.34	0.9-1.2	0.8-1.1	≤0.025	≤0.025	0.8-1.1

Сталь марки 30ХГСА применяется при изготовлении термически обработанных изделий - зубчатых колес, осей, корпусов и лопаток машин, которые работают при температуре до 200 градусов по Цельсию, рычагов, ответственных сварных конструкций, которые работают при разнообразных нагрузках, а также крепежных стале, которые работают при низких температурах [14] (таблица 2).

Таблица 2 – Механические свойства стали 30ХГСА

ГОСТ	Состояние, термообработка	Сечение, мм	КП	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	KCU, кДж/м ²	НВ, HRC
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГОСТ 4543-71	Пруток. Закалка 880 °С, масло. Отпуск 540 °С, вода или масло	25		830	1080	10	45	49	-
ГОСТ 8479-70[38]	Поковки. Закалка. Отпуск	До 100	490	490	655	16	45	59	212-248
		100-300	490	490	655	13	40	54	212-248
		До 100	540	540	685	15	45	59	223-262
		До 100	590	590	735	14	45	59	235-277
		100-300	590	590	735	13	40	49	235-277
		До 100	640	640	785	13	42	59	248-293
		До 100	675	675	835	13	42	59	262-311
	Закалка 860-880 °С, масло. Отпуск 200-250 °С, воздух	30		1270	1470	7	40		(43-51)
	Закалка 860-880 °С, масло. Отпуск 540-560 °С, вода или масло	60		690	880	9	45	59	225

Выводы по разделу 1

Согласно исследованиям ученых, корма растительного и животного происхождения, производимые в различных почвенно-климатических зонах нашей страны, хотя и различаются по составу полностью не сбалансированы по элементам и не содержат всех необходимых для животных питательных веществ [20].

Исходя из этого рационы сельскохозяйственных животных нуждаются в дополнительном поступлении биологически активных веществ: витаминов, макро и микроэлементов, ферментов и т.д. Включение биологически активных в комбикорма и комбикормовые рационы балансирует и повышает эффективность комбикормов, что в свою очередь повышает продуктивность животных, позволяет максимально реализовать их генетический потенциал и

увеличивает хозяйственный срок жизни животных. Данные премиксы изготавливаются на заводах, по индивидуальным рецептурам, в зависимости от потребностей хозяйств [27].

При анализе документов по обслуживанию оборудования на предприятии была выделена дробилка, эффективность работы которой может зависеть от состояния молотков. Чем медленнее истираются молотки, тем дольше дробилка работает более эффективно, что влияет на общую экономичность [25]. Степень износа молотков зависит от физических свойств измельчаемого продукта, а также от качества материала, из которого изготовлены молотки.

При визуальном осмотре определено, что особенно подвергаются износу острые кромки и углы молотков. Такие физические изменения молотков приводят к тому, что в процессе дробления разрягается слой продукта между молотками и стенками дробилки в результате чего производительность дробилки падает [28].

Исходя из всего вышеперечисленного для увеличения эффективности работы дробилки необходимо снизить истирание молотков в дробилке. Поскольку молотки изготавливаются из металла, то, как от конструкционного материала требуется не только высокое сопротивление деформации, но и высокое сопротивление разрушению [26].

В настоящее время для производства молотков дробилки ДМ-10 используют сталь 30ХГСА.

Целью настоящей работы является повышение работоспособности молотков молотковой дробилки ДМ-10 для производства премиксов на АО «Витасоль».

Поставленная цель предполагает решения следующих задач:

- определить актуальность производства премиксов для развития сельского хозяйства;
- проанализировать процесс производства премиксов на предприятии АО «Витасоль»;

- определить объекты, ответственные за снижение производительности и снижение положительного экономического эффекта;
- изучить структуру и определить твердость стали 30ХГСА из которой изготавливают молотки;
- изучить механизм износа молотков дробилки ДМ-10;
- предложить пути повышения работоспособности молотков дробилки ДМ-10, как способ дающий экономический эффект.

Научная новизна работы заключается в том, что установлен механизм износа молотков в дробилке молотковой ДМ-10 как ударно-абразивный износ, что позволило обосновать замену стали молотков 30ХГСА на сталь 45.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенная замена стали молотков с 30ХГСА на сталь 45 повысила срок работы молотков практически в 2.5 раза. При этом молотки из термообработанной стали 45 продолжают работать.

2 Объект и методики исследования

2.1 Объект исследования

В настоящей работе объектом исследования является молотки дробилки ДМ-10 в исходном состоянии (рисунок 15) и после эксплуатации. Промышленные молотки изготавливаются из стали 30ХГСА. Поэтому в работе объектом исследования также является сталь 30ХГСА.



Рисунок 15 – Промышленный молоток дробилки ДМ-10 из стали 30ХГСА

Молотки, размером 110 x 45 x 5 мм, изготавливаются из листа толщиной 5 мм. Затем, после высверливания отверстия проводят закалку и низкий отпуск готового изделия [14].

2.2 Испытание материалов на твердость

В настоящей работе контроль качества состояния промышленных молотков дробилки ДМ-10 осуществляли путем измерения твердости

термообработанной стали 30ХГСА непосредственно в молотках до их установки в дробилку. Проводили 10 измерений, затем рассчитывали среднее значение и максимальное отклонение от среднего значения [10].

Кроме того, как будет показано ниже, для сравнения работоспособности молотков из легированной термообработанной стали 30ХГСА и углеродистой термообработанной стали 45, молотки из стали 45 подвергали закалки и низкому отпуску, испытывали их на твердость и сравнивали твердость стали 30ХГСА и стали 45.

Все испытание сталей на твердость после термической обработки проводили на твердомере Роквелла (рисунок 16).



Рисунок 16 – Твердомер Роквелла

2.3 Методика исследования структуры и механизма износа материала молотков

2.3.1 Методика исследования структуры стали 30ХГСА после термической обработки

Для исследования структуры стали 30ХГСА после термической обработки из молотка был изготовлен образец размером 10x10 мм. Образец вырезали из промышленного ранее не работающего молотка (рисунок 15). Само вырезание образцов было произведено на станке, с охлаждающей системой для исключения локального нагрева. Затем, в специальные формы, была выполнена заливка образца эпоксидной смолой, для последующей более удобной подготовки микрошлифа.

Образцы шлифовали на шлифовальном станке шкурками зернистостью 120, 240, 400, 600, 800, 1200, 2500. После шлифования на каждой шкурке менялось направление на 90°. В некоторых случаях, во избежание перегрева образца, процесс шлифования останавливался. После шлифовки образец был тщательно промыт. Затем было проведено полирование на полировальном станке используя полировальный диск MD-MOL и полировальную жидкость MOL. После этого поменяв направление образец прошел полировку на полировальном бархатном диске с полировальной жидкостью NAP.

Затем образец был протравлен в 4 % спиртовом растворе азотной кислоты (HNO₃). После чего структуру стали изучали на металлографическом микроскопе Axiovert 40 MAT (рисунок 17).

Металлографический микроскоп Axiovert 40 MAT позволяет производить автоматизированную количественную оценку структуры по большинству Российских и зарубежных стандартов.



Рисунок 17 – Металлографический микроскоп Axiovert 40 MAT

2.3.2 Методики изучения механизма износа молотков

Основными методами изучения механизма износа молотков нами были использованы:

- макроанализ;
- электронномикроскопический анализ в сканирующем растровом электронном микроскопе (РЭМ) фирмы Sigma;
- микроанализ в конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (КЛСМ) LEXT OLS4000.

Макроанализ изношенной части молотков проводился визуально. Изучали макрорельеф поверхности отработанных молотков. При этом, поверхность молотка не подвергалась воздействию каких-либо травителей (растворов кислот, щелочей и т.д.).

Электронномикроскопический анализ износа молотка производился в сканирующим электронным микроскопом Sigma (рисунок 18).

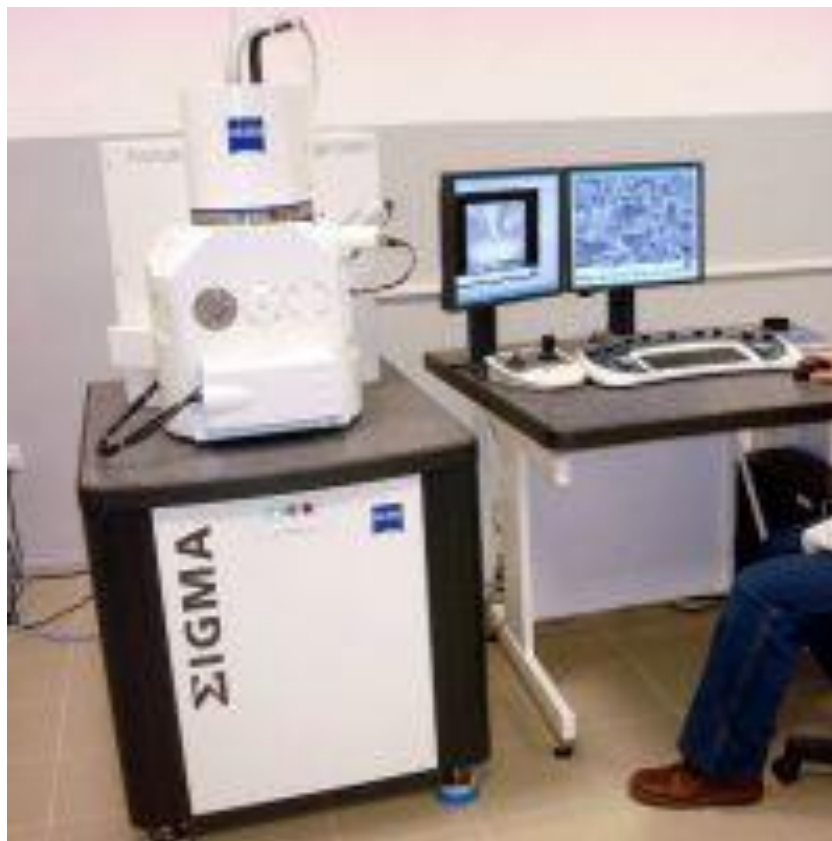


Рисунок 18 – Растровый сканирующий электронный микроскоп (РЭМ) фирмы Sigma

Для подготовки образцов поверхности молотков к съемке в РЭМ, из отработанных молотков вырезали образец, размером 10x10 мм. Образец промывали в спирте и устанавливали в камеру микроскопа. Съемку поверхности образцов (молотков) проводили при различном увеличении, что позволило изучить микрорельеф поверхности образца и сделать вывод о механизме износа молотков в процессе их эксплуатации при дроблении кормов в дробилки ДМ-10.

Микроанализ износа молотка производился в конфокальном лазерном сканирующем микроскопе LEXT OLS4000 (рисунок 19). Существенное преимущество конфокального лазерного сканирующего микроскопа состоит в том, что позволяет наблюдать профиль поверхности образца или детали, тем самым оценить шероховатость поверхности.



Рисунок 19 – Конфокальный лазерный сканирующий микроскоп (КЛСМ) LEXT OLS4000

Для исследования поверхности образца в конфокальном лазерном сканирующем микроскопе, образец промывали в спирте и устанавливали на столик микроскопа. Съемку поверхности образцов (молотков) проводили при различном увеличении, что позволило также судить о механизме износа молотков в процессе их эксплуатации при дроблении кормов в дробилки ДМ-10.

2.4 Методика термической обработки молотков дробилки ДМ-10 из стали 45

Экспериментальные молотки из стали 45 изготавливали из листовой стали толщиной 5 мм. Молотки изготавливали той же геометрии и тех же размеров, что и промышленные молотки из стали 30ХГСА.

Закалка молотков из стали 45 выполняли с целью повышения твердости, износостойкости и прочностных характеристик поверхности деталей. Данный вид обработки является разновидностью термообработки, а именно закалкой с

полиморфными превращениями [31], с помощью которой им придаются необходимые эксплуатационные свойства. По содержанию углерода конструкционная сталь 45 (0,45 % С) относится к среднеуглеродистой стали, что затрудняет механическую обработку. Поэтому термообработку молотков проводили после их изготовления [16].

Известно, что существует два основных способа нагрева стали под закалку:

- в специальных электропечах непрерывного или периодического действия;
- токами высокой частоты (ТВЧ).

Эти способы отличаются технологией. К технологии относится закалка температурой, время выдержки и среда охлаждения. При нагреве в электропечи температура нагрева не превышает 860 °С. По технологии сталь 45 нагревают со скоростью не больше 3 °С в секунду выше 790 °С. При использовании тока высокой частоты температура может достигать до 920 °С со скоростью 250 °С в секунду. Заготовки выдерживают в печи определенное время для выравнивания внутренней структуры, которое зависит от толщины заготовки и температуры нагрева.

После выдерживания стали в печи ее подвергают охлаждению. Охлаждение производят в специальных средах до температуры 20-25 °С. В качестве рабочей среды может служить вода, минеральные масла или смесь воды с солями или каустической содой. Температура рабочей среды колеблется в пределах 20÷60 °С. Необходимая для охлаждения температура указывается в технологической документации по проведению закалки стали 45. На практике после нагрева сталь 45 охлаждают в воде. После процесса охлаждения заготовку подвергают низкотемпературному отпуску. Такой отпуск позволяет получить твердость рабочей поверхности стали 45 до 55 HRC [16], что для большинства используемых деталей, считается достаточной.

В настоящей работе для сравнения работоспособности молотков дробилки ДМ-10 из углеродистой стали 45 (0.45 % С) и легированной стали 30ХГСА и были изготовлены 5 молотков из стали 45. Данные молотки были подвергнуты следующей термической обработки:

- нагрев до температуры 840 °С;
- закалка в воду;
- отпуск при температуре 200 °С, 1 час [31].

Выводы по разделу 2

В настоящей работе объектом исследования является молотки дробилки ДМ-10 в исходном состоянии и после эксплуатации.

Промышленные молотки изготавливаются из стали 30ХГСА, поэтому в работе объектом исследования также является сталь 30ХГСА.

Для контроля качества состояния промышленных молотков из стали 30ХГСА были проведены следующие исследования:

- измеряли твердость термообработанной стали 30ХГСА, а также термообработанной стали 45 на твердомере Роквелла. По результатам проведенных 10 измерений рассчитали среднее значение и максимальное отклонение от среднего значения;

- исследовали структуры стали 30ХГСА после термической обработки с помощью металлографического микроскопа Axiovert 40 MAT;

- изучали механизм износа молотков с помощью с помощью следующих методов: макроанализ (визуальный осмотр), электронномикроскопический анализ в сканирующем растровом электронном микроскопе (РЭМ) фирмы Sigma, микроанализ в конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (КЛСМ) LEXT OLS4000.

- была проведена закалка экспериментальных молотков из стали 45 выполняли с целью повышения твердости, износостойкости и прочностных характеристик поверхности деталей по следующему протоколу: нагрев до температуры 840 °С; закалка в воду; отпуск при температуре 200 °С, 1 час.

3 Результаты исследования и их обсуждение

3.1 Исследование структуры и твердости стали 30ХГСА, используемой для изготовления промышленных молотков дробилки ДМ-10

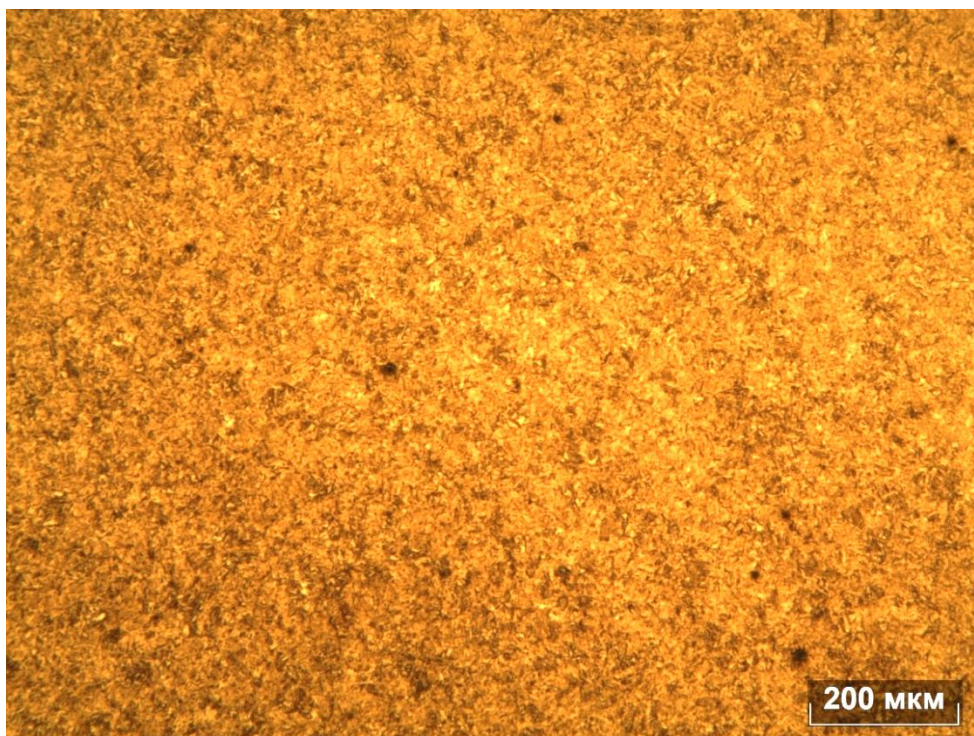
Для выявления наиболее часто меняемых расходных материалов был проведен анализ производственного оборудования в АО «Витасоль». В результате проведенного анализа объектом исследования были выбраны молотки (рисунок 14) в молотковой дробилке ДМ-10 (рисунок 4), посредством которых в дробилке проходит процесс дробления отрубей.

В настоящее время промышленные молотки для дробилки ДМ-10 выполняются из среднелегированной стали 30ХГСА. После закалки с температуры 860-880°С в масло и отпуска при температуре 200-250°С, охлаждение на воздухе [30], твердость стали, как показали наши исследования, гораздо ниже требуемой (33 HRC против 45-50 HRC) (таблица 3).

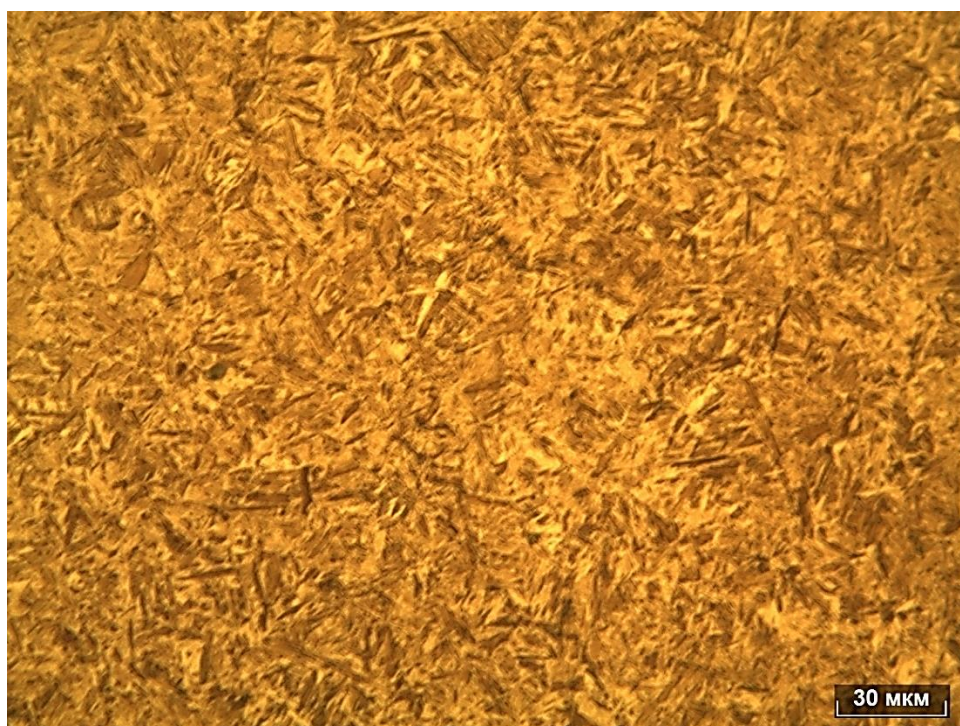
Таблица 3 – Твердость стали 30ХГСА молотков после термической обработки

Требование к твердости стали по паспорту	45-50 HRC
Фактическая твердость стали	33±2 HRC

Для объяснения такой низкой твердости стали 30ХГСА после термической обработки был проведен микроанализ стали на металлографическом микроскопе. Видно, что после вышеуказанной термической обработки сталь имеет структуру отпускаемого мартенсита (рисунок 20). Однако, из-за низкого количества углерода в стали (C = 0.3 %) получить требуемую твердость стали не представляется возможным.



а)



б)

Рисунок 20. Микроструктура стали 30ХГСА после термической обработки при различном увеличении

Для обоснованности необходимости повышения твердости стали был изучен механизм износа поверхности молотков.

3.2 Исследование механизма износа поверхности молотков

Механизм износа в основном состоит в том, что с поверхности металла вырываются мелкие частицы. В случае абразивного износа, когда твердые частицы абразива (в данном случае частички обрабатываемых кормов) вырывают мельчайшие кусочки металла, стойкость против износа будет определяться сопротивлением металла хрупкому разрушению и его твердостью. Чем выше твердость стали, тем выше стойкость стали против абразивного износа [41].

Как было отмечено выше, механизм износа поверхности молотков изучали методами макро- и микроанализа.

3.2.1 Макроанализ износа поверхности молотков

Как уже было отмечено, с течением времени молотки испытывают износ рабочей части (рис. 21 а, б), что приводит к снижению производительности дробилки. При значительном снижении производительности дробилки производят замену сработанных молотков на новые.

На рисунке 21 представлен характерный вид молотков после срока эксплуатации (рисунок 21 а) и вид молотка на стадии износа (рисунок 21 б). Видно, что в результате износа изменяется не только толщина молотков, но и их геометрические форма и размеры. Причем рабочая поверхность молотков, подвергнутая износу, имеет сравнительно не высокую шероховатость.

Из рисунка 21 при визуальном осмотре видно, что в области износа имеются следы от ударов отдельных частиц - продуктов дробления в виде углублений различного размера.



а)



б)

Рисунок 21 – Внешний вид (а, б) молотков дробилки ДМ-10 из стали 30ХГСА после эксплуатации

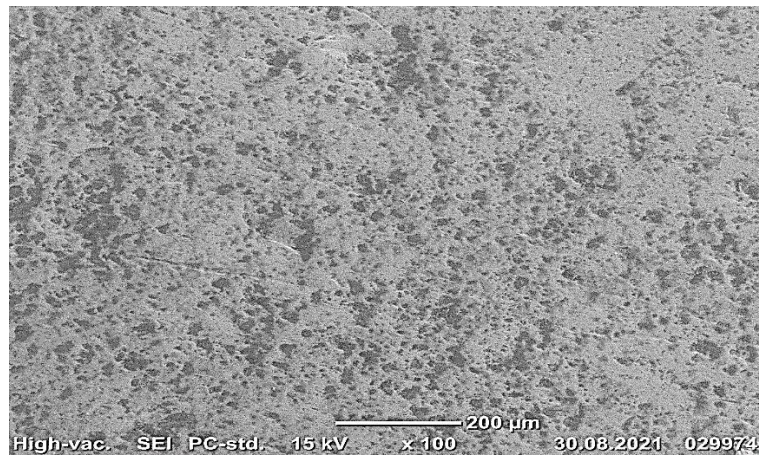
Для более глубокого понимания механизма износа молотков были проведены исследования микрорельефа поверхности молотков в месте износа. Микроанализ износа поверхности молотков в растровом электронном микроскопе.

3.2.2 Микроанализ износа поверхности молотков в растровом электронном микроскопе (РЭМ)

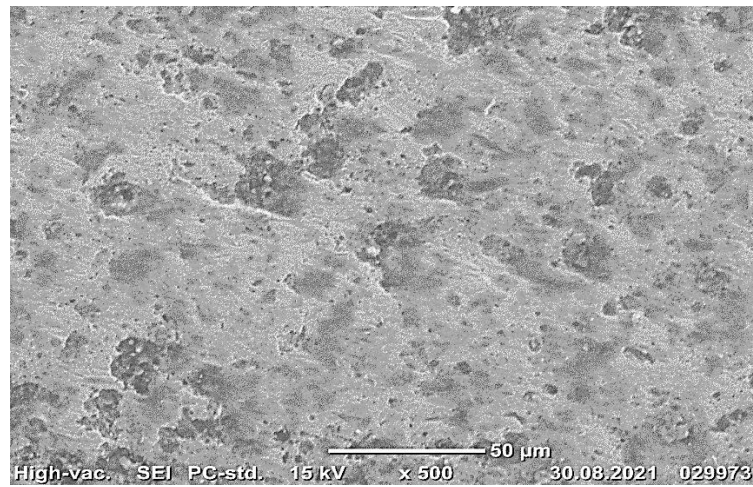
На рисунке 22 представлены фотографии микрорельефа поверхности молотков после их эксплуатации в месте износа. Фотографии, получены при различном увеличении.

Видно, что на фоне поверхности молотков после износа видны отдельные углубления (воронки неправильной формы) от ударов под некотором углом отдельных частиц кормов, которые вырвали мельчайшие кусочки металла с поверхности молотков.

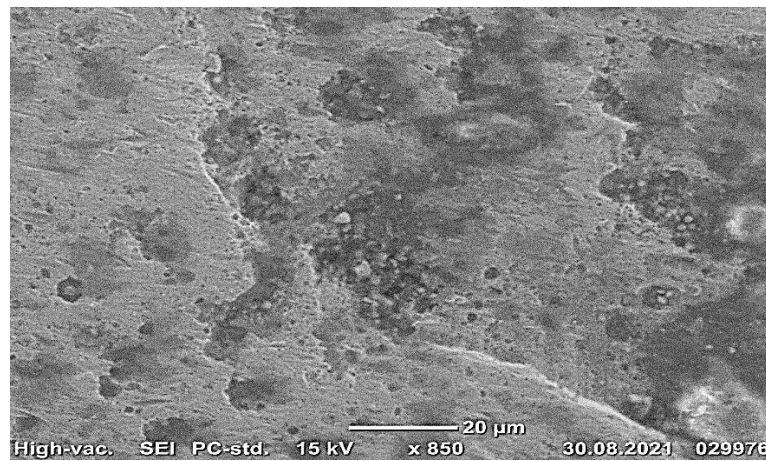
Анализ микрорельефа поверхности после износа молотков показывает, что, в данном случае, имеет место ударно-абразивный износ.



a)



б)



в)

а- x100, б- x500, в- x850.

Рисунок 22 – Микрорельеф поверхности молотков в месте износа при различном увеличении (РЭМ)

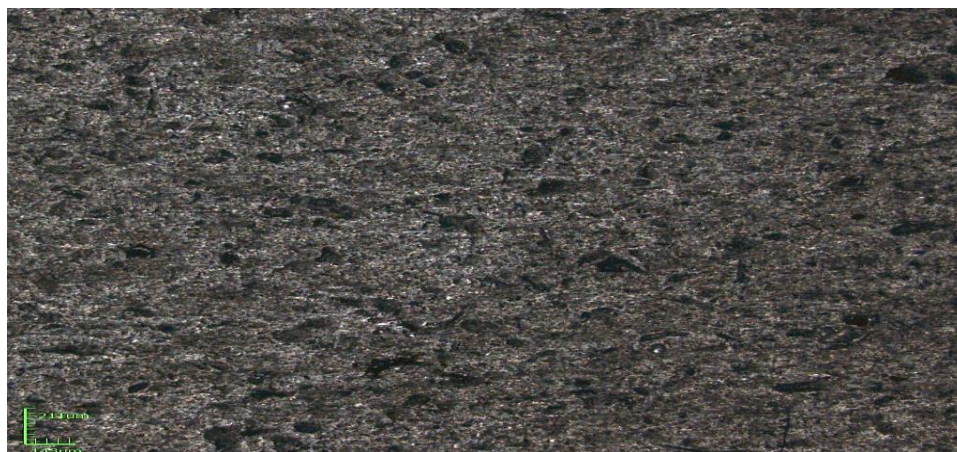
3.2.3 Изучение износа поверхности молотков на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (КЛСМ)

Фотографии поверхности молотков в месте износа, полученные с помощью КЛСМ позволяют более детально изучить микрорельеф, образовавшийся в результате воздействия частиц кормов на поверхность молотков. (рисунок 23). Видно, что частицы кормов формируют рельеф, состоящий как из мелких, так и крупных впадин. Вся поверхность молотков после износа буквально испещрена рисками. Профилограммы поверхности позволяют увидеть профили впадин (рисунок 24).

Микроанализ поверхности молотков после износа в 3D формате (рисунок 25) показывает, что микрорельеф состоит в основном из сравнительно невысокой шероховатости и впадин; явные неровности в виде выпуклостей отсутствуют.

Таким образом, проведенный анализ микрорельефа поверхности молотков после износа на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе подтверждает тот факт, что в данном случае мы имеем дело с ударно-абразивным износом поверхности [7].

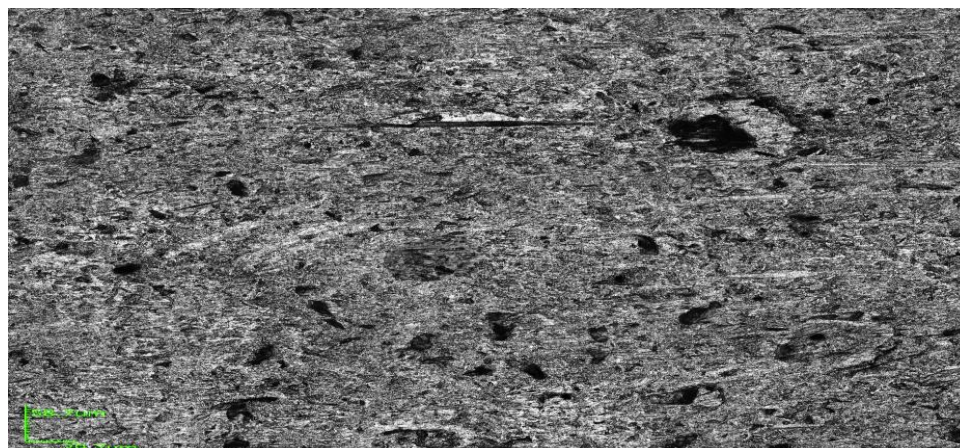
Вывод. Результаты макроанализа и микроанализа поверхности молотков на растровом и конфокальном лазерном микроскопах показали, что в данном случае поверхность молотков были подвержены ударно-абразивному износу, когда твердые частицы абразива (в данном случае частица кормов) вырывают мельчайшие кусочки металла, формируя вышерассмотренный макро- и микрорельеф поверхности молотков.



а)



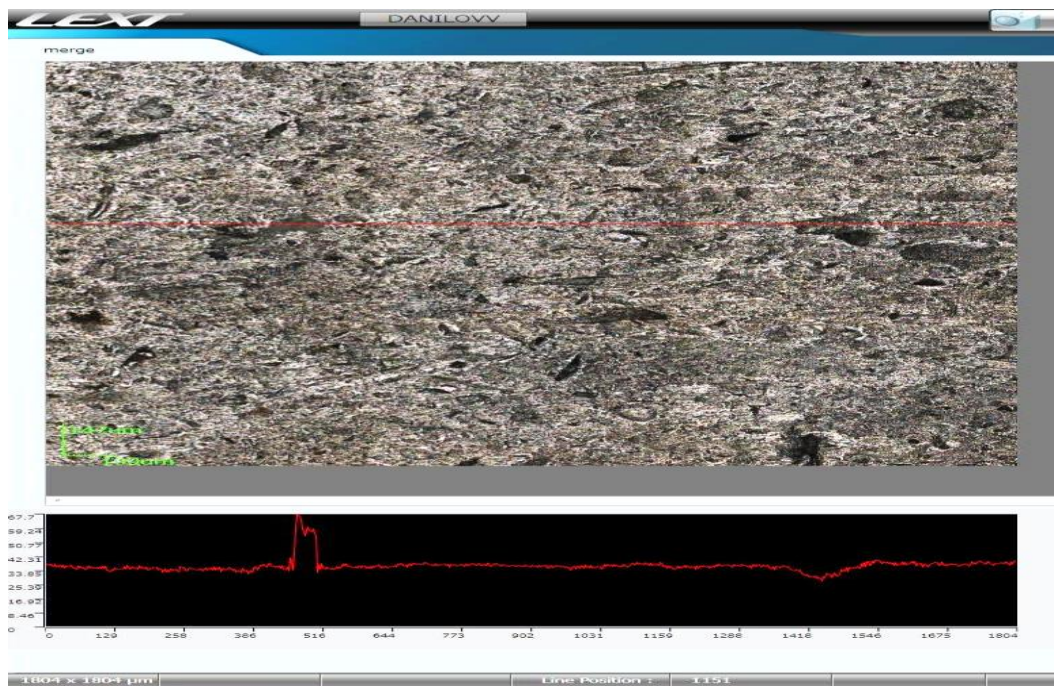
б)



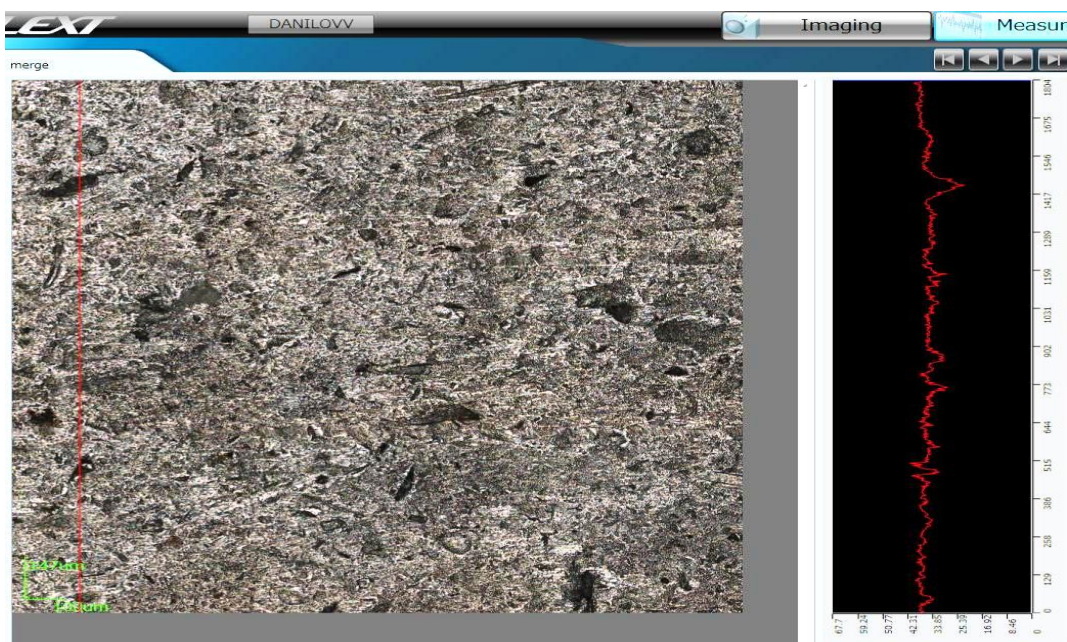
в)

а- x100, б- x400, в- x1000.

Рисунок 23 – Панорама поверхности молотков в месте износа при различном увеличении (КЛСМ)



a)



б)

Профилограммы в горизонтальном (а) и вертикальном (б) направлении

Рисунок 24 – Фрагмент поверхности молотков в месте износа (КЛСМ)

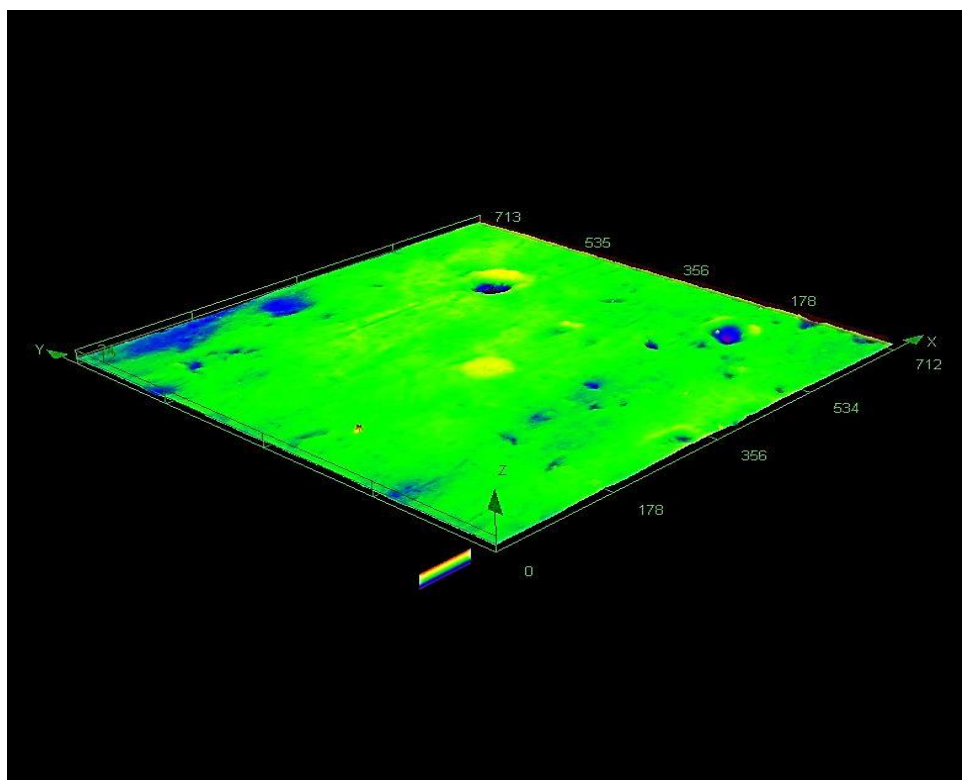


Рисунок 25 – Фрагмент поверхности молотков в месте износа
в 3D формате, x1000

3.3 Обоснование по замене материала молотков дробилки ДМ-10 из стали 30ХГСА на сталь 45

При обосновании замены одного материала изделий другим, необходимо учитывать не только механические свойства материалов, но и условия, в которых работают изделия.

Поскольку в случае износа работы дробилки мы имеем дело с ударно-абразивным износом, необходимо, прежде всего, повысить твердость материала молотков.

Поскольку процесс дробления кормов не связан с работой молотков во влажной или агрессивной среде и нет других ограничений в использовании материалов молотков, в качестве материала молотков можно использовать не легированную, а углеродистую сталь [19]. Чтобы повысить твердость стали

необходимо увеличить количество углерода и провести стандартную термическую обработку: закалка + низкий отпуск.

В качестве материала молотков для дробилки нами была выбрана углеродистая сталь 45 (0.45 % C). Было изготовлено 5 экспериментальных образцов молотка из стали 45. Все молотки прошли следующий режим термической обработки: закалка с температуры 840 °С в воду + низкий отпуск (200 °С). Окончательная структура – отпущенный мартенсит [31].

Результаты измерения твердости молотков из стали 45 показали, что полученная твердость термообработанной стали 45 составляет 55±2 HRC, что удовлетворяет требованию паспорта по твердости (таблица 4).

Таблица 4 – Твердость стали 45 молотков после термической обработки

Требование к твердости стали по паспорту	45-50 HRC
Фактическая твердость термообработанной стали 45	55±2 HRC

В дальнейшем, для расчета экономического эффекта необходимо сравнить работоспособность молотков из термообработанной стали 45 и молотками из термообработанной стали 30ХГСА. Для этого, помимо времени работы молотков необходимы сведения о количестве дробилок на предприятии, количестве молотков в одной дробилке и стоимости молотков из стали 30ХГСА и стали 45. Эти данные приведены в таблице 5.

Исходным материалом послужили данные статистики отдела главного инженера цеха АО «Витасоль» по дробилке молотковой ДМ-10.

Таблица 5 - Исходные данные

Количество дробилок на предприятии	4
Количество молотков в одной дробилке	64
Стоимость молотка из стали 30ХГСА	77 руб.
Оценочная стоимость молотка из стали 45	62 руб.
Средний срок службы молотка из стали 30ХГСА	1.5 месяца

3.4 Результаты оценки приблизительного экономического эффекта от работоспособности эксперимента молотков из стали 45 дробилки ДМ-10 по сравнению со сталью 30ХГСА

10.03.2022 года на АО «Витасоль», наряду с промышленными молотками из термообработанной стали 30ХГСА, были установлены 5 экспериментальных молотков из термообработанной стали 45 в дробилке молотковой ДМ-10, (см. Приложение А. Протокол № 1 от 10.03.2022 г.).

На 1 июля экспериментальные молотки из стали 45 проработали 3 месяца и 20 дней и продолжают работать (см. Приложение Б. Протокол № 2 от 01.07.2022 г.).

Примерный экономический эффект от замены молотков из стали 30ХГСА на молотки из стали 45 составляет:

а) по стоимости изделий:

- 1) общее количество молотков: $(4 \times 64 = 256)$,
- 2) общая стоимость молотков из стали 30ХГСА: 256×77 (руб.) = 19 712 руб.,
- 3) общая стоимость молотков из стали 45: 256×62 (руб.) = 15 872 руб.,
- 4) разница составляет 3 840 руб. на каждый цикл замены молотков в дробилке молотковой ДМ-10;

б) по продолжительности работы (экономия за счет уменьшения количества замен молотков и простоя оборудования):

- 1) количество замен молотков из стали 30ХГСА за год: $12 \text{ мес.} / 1.5 \text{ мес.} = 8$,
- 2) предполагаемое количество замен молотков из стали 45 за год: $12 \text{ мес.} / 3 \text{ мес.} = 4$.

Окончательный экономический эффект будет рассчитан после завершения эксперимента, когда будет установлено окончательное время работы молотков из стали 45.

Выводы по разделу 3

- Изучена микроструктура и определена твердость термообработанной стали 30ХГСА, используемой в промышленных молотках дробилки ДМ-10. Показано, что твердость стали 30ХГСА не удовлетворяет требованию по твердости стали по паспорту.
- Проведен макро- и микроанализ поверхности молотков из стали 30ХГСА в месте износа. Определено что в данном случае имеет место ударно-абразивный износ, когда твердые частицы абразива (в данном случае частица кормов) вырывают мельчайшие кусочки металла, формируя имеющейся макро- и микрорельеф.
- Основываясь на химическом и физическом анализе, а так же на всех полученных результатах исследований был сделан вывод: сталь 30ХГСА не подходит для данного вида работ.
- Изготовлены и прошли термическую обработку 5 молотков из предложенной стали 45. Молотки установлены на АО «Витасоль» в дробилке молотковой ДМ-10, наряду с промышленными молотками из стали 30ХГСА для оценки сравнительной работоспособности.
- На сегодняшний день молотки из стали 45 проработали практически в 2.5 раза дольше, чем молотки из стали 30ХГСА и продолжают работать.

Заключение

На предприятии АО «Витасоль», выпускающей премиксы для сельскохозяйственных животных в свете современной экономической ситуации рассматриваются варианты снижения себестоимости продукции. Одним из пунктов представлен вариант экономии на расходных материалах. После анализа процесса производства и оборудования были выбраны молотки в молотковой дробилке ДМ-10.

Выявлена прямая зависимость от степени износа молотков и падения производительность дробилки. Сырье дольше находится в дробилке, больше расходуется электроэнергии. В связи с большим количеством молотков, необходимых для регулярной замены - 64 штуки, продление службы молотков смогло бы снизить расходы. Для этого необходимо было изучить процессы, происходящие с молотками, определить соответствие используемой стали и предложить более экономически выгодную сталь.

Используемые молотки изготовлены из термобработанной стали 30ХГСА. Выявлен недостаток молотков из этой стали - быстрый износ. В работе были оценены условия, влияющие на молотки во время их использования. Было определено, что в процессе работы происходит ударно-абразивный износ молотков.

Для уточнения процессов, происходящих с молотками:

- они были осмотрены визуально;
- исследован микрорельеф поверхности молотков в месте износа;
- проведен микроанализ износа поверхности молотков в растровом электронном микроскопе;
- микроанализ износа поверхности молотков в конфокальном лазерном сканирующем микроскопе.

При зрительном осмотре, в зоне, максимально подвергавшейся ударам заметны круглые выбоины, оставленные твердыми частицами отрубей. При

исследованиях микрорельефа под микроскопом видны лунки, оставшиеся после выбитых твердыми частицами отрубей частиц металла.

Основываясь на химическом и физическом анализах, а также на всех полученных результатах исследований был сделан вывод: сталь 30ХГСА не подходит для данного вида работ. После термической обработки микроанализ стали на металлографическом микроскопе показал, что после вышеуказанной термической обработки сталь имеет структуру отпущенного мартенсита, однако, из-за низкого количества углерода не представляется возможным получить требуемую твердость в стали. Это приводит к быстрому износу молотков.

Были проанализированы другие стали и подобрана более подходящая для данного вида деятельности сталь – сталь 45. По содержанию углерода конструкционная сталь 45 (0,45 % С) относится к среднеуглеродистой. Применяется такая сталь для изготовления конструкций и устройств, противостоящих нагрузкам. У металла хорошие показатели прочности, износостойкости, он не поддается коррозионным процессам в процессе эксплуатации. Закаливание улучшает эти показатели.

Была выбрана следующая схема термической обработки стали 45 для молотков: закалка на мартенсит с температурой 757°C + закалка в воду + низкий отпуск (200°C).

Для подтверждения правильности выбора были изготовлены и установлены 5 молотков из стали 45, обработанные по выбранной схеме (Протокол 1). При плановой замене молотков проведено сравнение износа молотков из разных сталей. Молотки из стали 45 имеют меньший износ, чем из стали 30ХГСА, в связи с чем не требуют замены на момент осмотра и оставлены для дальнейшего использования в дробилке (Протокол 2).

Список используемых источников

1. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов – М.: Изд-во «Машиностроение», 2004. 248 с.
2. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов / В.А. Афанасьев. – Воронеж: Элист, 2008. Т. 1. 196 с.
3. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов / В.А. Афанасьев. – Воронеж: Элист, 2008. Т. 2. 295 с.
4. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В.А. Афанасьев. – Воронеж, 2007. 389 с.
5. Афанасьев В.А. Система технологических процессов комбикормового производства / В.А. Афанасьев, А.И. Орлов. – Воронеж, 2002. 113 с.
6. Буряков Н.П. Кормление высокопродуктивного молочного скота. – М.: Изд-во «Проспект», 2009. 145 с.
7. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. 521 с.
8. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. - М.: Колос, 1979. 154 с.
9. ГОСТ 27674–88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1992.- 17 с.
10. Гвоздев А.А. 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» – Иваново: ФГБОУВО Ивановская ГСХА, 2018. 214 с.

11. Гутерман В.М., Тененбаум М.М. Влияние структуры на износостойкость углеродистых сталей при абразивном изнашивании. *Металловедение и обработка металлов*, 1956, № 4. С. 16-19.
12. ГОСТ 3882-74 Сплавы твердые спеченные. Марки. М.: Стандартиформ, 2008. 15 с.
13. ГОСТ 26530-85 Сплавы твердые спеченные безвольфрамовые. Марки. М.: Издательство стандартов, 1985. 23 с.
14. ГОСТ 4543-71. Прокат из конструкционной легированной стали. Технические условия. М.: Стандартиформ 2008. 14 с.
15. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1989. 12 с.
16. Гуляев А.П. *Металловедение*. - М.: Металлургия, 1977.- 544 с.
17. Демченко П.В. Биологические закономерности повышения продуктивности животных. – М.: Колос, 1972. 128 с.
18. Инженерная оптимизация экструзионного оборудования: учеб. пособие / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов и др. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.
19. Календрузь И. Мобильные комбикормовые агрегаты / И. Календрузь, О. Васильев // *Комбикорма*, 2010. № 8. С. 48–51.
20. Кожарова Л.С. Основы комбикормового производства: учеб. / Л.С. Кожарова. – М.: Пищепромиздат, 2004. 288 с.
21. Коршунов Л.Г. Изнашивание металлов при трении // *Металловедение и термическая обработка стали* / под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. М.: Металлургия, 1991. 234 с.
22. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. 342 с.
23. Курочкин А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков; под ред. А.А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. 320 с.

24. Кушнир В.Г. Использование экструдеров при переработке продукции растениеводства в Республике Казахстан: учеб.-метод. пособие / В.Г. Кушнир, Н.В. Гаврилов, С.А. Ким. – Костанай, 2016. 128 с.
25. Литвинец Ю.И. Основы материальных расчетов и выбора оборудования для переработки пластических масс экструзией / Ю.И. Литвинец. – Екатеринбург, 2001. 46 с.
26. Литвинец Ю.И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией / Ю.И. Литвинец. – Екатеринбург, 2010. 56 с.
27. Лысенко В.П. Производство комбикормов, премиксов и белково-витаминных добавок. – Сергиев Посад, 2002. 241 с.
28. Машины и оборудование для производства комбикормов: справ. пособие / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.А. Бортник и др. – Минск: Экоперспектива, 2005. 487 с.
29. Мишуров Н.П. Технологии и оборудование для производства комбикормов в хозяйствах: справоч. / Н.П. Мишуров. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 204 с.
30. Металловедение и термическая обработка стали: справочное издание в 3 т. /под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта, - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983 324 с.
31. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов: учебник/ И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1974. 480 с.
32. Остриков А.Н. Практикум по курсу «Технологическое оборудование» / А.Н. Остриков, М.Г. Парфенопуло, А.А. Шевцов. – Воронеж: ВГТА, 1999. 424 с.
33. Остриков А.Н. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. – СПб.: ГИОРД, 2004. 288 с.
34. Петухова Е.А., Бессарабова Р.Ф., Халенова Л.Д. Зоотехнический анализ кормов. – М.: Колос 1981. 87 с.

35. Пелевин А.Д. Комбикорма и их компоненты / А.Д. Пелевин, Г.А. Пелевина, И.Ю. Венцова. – М.: ДеЛи принт, 2008. 519 с.
36. Пособие по проектированию конвейерного транспорта. Ленточные конвейеры (к СНиП 2.05.07-85). – М.: Стройиздат, 1988. 41 с.
37. Парфенов В.Н. Что важно учитывать при производстве премиксов. «Комбикорма», 2001, №2, С. 45-49.
38. Расчет и конструирование машин пищевой промышленности: учеб. пособие / Т.И. Тупольских, И.А. Хозяев, И.Ю. Механцева и др. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. 125 с.
39. Садов В.В. Производство комбикормов в хозяйственных условиях: учеб. пособие / В.В. Садов. – Барнаул: изд-во АГАУ, 2009. 96 с.
40. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. 248 с.
41. Сацик С.П. Влияние свойств абразивных частиц на износостойкость металлов. Наука без границ. 2019. № 4(32). С. 34-45.
42. Тарасов В.П. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий: учеб. пособие / В.П. Тарасов. Барнаул: АлтГТУ, 2014. 292 с.
43. Технологии и оборудование для экструдирования растительного сырья: учеб. пособие / В.И. Пахомов, Д.В. Рудой, Т.И. Тупольских. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. 108 с.
44. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев и др. – М.: ДеЛи принт, 2010. 696 с.
45. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия): учеб. / Л.А. Глебов, А. Б. Демский, В.Ф. Веденьев и др. – М.: ДеЛи принт, 2006. 816 с.

46. Технология и оборудование для производства комбикормов: в 2-х ч.
Ч. I. Технология комбикормов / В.А. Шаршунов, Л.В. Рукшан, Ю.А. Пономаренко и др. – Минск: Мисанта, 2014. 978 с.

47. Технология и оборудование для производства комбикормов: в 2-х ч.
Ч. II. Технологическое оборудование комбикормовых предприятий / В.А. Шаршунов, Л.В. Рукшан, Ю.А. Пономаренко и др. – Минск: Мисанта, 2014. 815 с.

48. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию / Трение и износ, 1982, № 1. С. 19-23.

49. Хохрин С.Н. Кормление сельскохозяйственных животных. – М.: «Колос», 2007. 324 с.

50. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 213 с.

51. Чеглакова Е.Н. Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства и факторы его повышения. Научные труды Вятского социально-экономического института: Ежегодник. - Киров: ВСЭИ, Вып.1, 2002. 334 с.

52. Чеботарев О.Н. Технология муки, крупы и комбикормов / О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. – М.: ИКЦ «МарТ», Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2004. 688 с.

53. A general approach to module-based plant design / M. Eilermann, C. Post, H. Radatz et al. // Chemical Engineering Research and Design, 2018. Т. 137. С. 125–140.

54. A.R. Chinha. Metallurgical aspects of steels designed to resist abrasion, and impact-abrasion wear. Materials science and technology, 2019. Vol. 35. No. 10.

55. Dr. N. Albers, Dr. G. Gotterbarm, Dr. W. Heimbeck, Dr. Th. Keller, Dr. J. Seehawer, Dr. T. D. Tran. Vitamins in Animal Nutrition. – AgriMedia, by Agrimedia GmbH, 2002. 123 p.

56. Gourab Saha, Kati Valtonen, Pasi Peura, Ari Saastamoinen, Veli-Tapani Kuokkala. Impact-abrasive and abrasive wear behavior of low carbon steels with a range of hardness-toughness properties. Эл. ресурс: ResearchGate, March 2020.

57. Jackson M. Factory-in-a-box – mobile production capacity on demand / M. Jackson, A. Zaman // International Journal of Modern Engineering, 2007. Т. 8. № 1. P. 12–26.

58. Methodology for the development of modular factory systems / A. Kampker, H. Voet, P. Burggraf et al. // FAIM Conference Proceedings, 2014. P. 131–138.

59. Negar Karimi, Mehrdad Mohri, Mohammad Azizzadeh, Hesam Aldin Seifi, Mohammad Heidarpour. Relationships between trace elements, oxidative stress and subclinical ketosis during transition period in dairy cows. The Iranian journal of veterinary science and technology. Oct., 2015. P. 13-22.

60. Özgür ACAR. Feed Production Processes and Automation. – Feed Planet Magazine, 27 September 2017. 132 p.

61. Realizing a factory-in-a-box solution in a local manufacturing environment / A. Granlund, M. Hedelind, M. Wiktorsson et al. // 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems Sustainable Development of Manufacturing Systems, 2009. P. 1–8.

62. Smith R.E. Prefab architecture: A guide to modular design and construction / R.E. Smith. – John Wiley & Sons, 2011. 402 p.

Приложение А

Протокол испытаний № 1



ВИТАСОЛЬ

www.vitasol.ru E-mail: info@vitasol.ru
Тел. +7 (48438) 2-94-02; 2-94-09
+7 (495) 996-34-44
Россия, Калужская область,
р-н Боровский, Боровск г.,
Институт п., д.16

Протокол испытаний № 1 от «10» марта 2022 г.

10 марта 2022 года были установлены на дробилку автоматической линии ДМ- 10 молотки, изготовленные из стали 45 в количестве 5 штук. Молотки устанавливаются с целью оценки эффективности работы молотков из стали 45 в сравнении с работой молотков из стали 30ХГСА.

Молотки из стали 45 были подвергнуты технической обработке: закалка на мартенсит с температурой 757⁰С + закалка в воду + низкий отпуск (200⁰С).

Время работы молотков из стали 45 будет оцениваться по тем же критериям, что молотки из стали 30ХГСА.

Заместитель директора

В.В. Петухов

Главный инженер

А.П. Смирнов

Слесарь

Е.В. Панов



АО «ВИТАСОЛЬ» - разработчик и производитель премиксов, кормовых добавок, оказывает лабораторные и консалтинговые услуги, победитель конкурсов «100 лучших товаров России» / стр. 1 из 1

Приложение Б Протокол испытаний № 2



ВИТАСОЛЬ

www.vitasol.ru E-mail: info@vitasol.ru
Тел. +7 (48438) 2-94-02; 2-94-09
+7 (495) 996-34-44
Россия, Калужская область,
р-н Боровский, Боровск г.,
Институт п., д.16

Протокол испытаний № 2

от «01» июля 2022 г.

Во время плановой замены молотков в дробилке автоматической линии ДМ-10 при визуальном осмотре зафиксировано, что молотки из стали 45, установленные 10 марта 2022 года в количестве 5 штук имеют меньшее истирание рабочей поверхности, чем молотки из стали 30 ХГСА.

Заключение: молотки из термообработанной стали 45 установленные 10 марта 2022 года в дробилке автоматической линии ДМ-10 в количестве 5 штук проработали 3 месяца и 20 дней. Молотки соответствуют рабочему состоянию и не требуют замены.

Заместитель директора

В.В. Петухов

Главный инженер

А.П. Смирнов

Слесарь



Е.В. Панов

АО «ВИТАСОЛЬ» - разработчик и производитель премиксов, кормовых добавок, оказывает лабораторные и консалтинговые услуги, победитель конкурсов «100 лучших товаров России» / стр. 1 из 1