

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ХАДЖАР СИЯВУШ КЫЗЫ ГУСЕЙН-ЗАДЕ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ДЕТАЛЕЙ И РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОБОРУДОВАНИЯ
ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДОМ
УПРОЧНЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ**

3313.01- Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

БАКУ–2014

Диссертационная работа выполнена в Азербайджанском Технологическом Университете

Научный руководитель:

заслуженный деятель науки
Азербайджанской Республики,
доктор технических наук,
профессор **Т.Б. Годжаев**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор **А.И. Садыгов**

кандидат технических наук,
доцент **Н.И. Амирасланова**

Ведущая организация: Азербайджанский Научно-исследовательский Институт “Агромеханики”

Защита диссертации состоится **12 декабря 2014 года в 11.00 часов** на заседании Диссертационного Совета D02.171 при Азербайджанском Техническом Университете.

Адрес: AZ1073, г. Баку, проспект Г.Джавида, 25

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Технического Университета.

Автореферат разослан 12 ноября 2014 г.

Учёный секретарь диссертационного
совета D02.171 к.т.н., доцент



С.К. Гёзалов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В целях улучшения продовольственного обеспечения населения в стране за счет местного производства Президентом страны утверждена Государственная Программа надёжного обеспечения продовольственными товарами населения Азербайджанской Республики в 2008-2015 годах. В программе поставлена цель, увеличить площадь посева зерновых культур, являющихся важным продовольственным продуктом, до 900 тыс. га, производительность - до 32 ц/га и общее производство - до 2,8 миллионов тонн.

Потребность населения в хлебе и хлебобулочных изделиях определяет стратегическое значение хлебопекарной промышленности. Для повышения объёма их производства в республике проводятся различные мероприятия: расширяют ассортимент хлеба и хлебобулочных изделий; внедряют новые технологии и более производительную технику. Однако наряду с повышением объёма производства необходимо уменьшить производственные затраты, связанные с заменой и ремонтом технологического хлебопекарного оборудования.

Особое внимание следует уделять повышению надёжности и долговечности хлебопекарного оборудования, так как они являются высокопроизводительными и работают в неблагоприятных условиях: повышенных температур, агрессивных сред, динамических нагрузок и циклическом изменении температуры и внешних механических сил. Поэтому одной из важнейших задач является широкое применение новых высококачественных материалов и повышение долговечности хлебопекарного оборудования.

В хлебопекарной промышленности наблюдаются интенсивные потери от коррозии, обусловленные преждевременным выходом из строя пищевого оборудования, рабочие органы и детали которых контактируют с технологическими агрессивными средами, затратами на профилактическое обслуживание, ремонт и замену износившихся деталей. Поэтому актуальной и важной задачей является максимальное устранение потерь и нерациональных расходов на ремонт и запасные части оборудования.

Обеспечение высокого уровня надёжности хлебопекарного оборудования и высокого качества выпускаемой продукции возможно только с применением современных прогрессивных методов упрочнения поверхностей быстро изнашиваемых деталей и рабочих органов

путём правильного выбора материала с учётом его стойкости к агрессивным средам, действующим в производственных условиях.

Целью исследования является повышение износостойкости деталей и рабочих органов хлебопекарного технологического оборудования методом упрочнения их поверхности, основанного на создании защитных систем, обладающих экономичностью, высокой конструктивной прочностью и надёжностью сцепления.

Объектом исследований явились рабочие органы и детали оборудования хлебопекарного производства, работающие в коррозионно-активных средах, а **предметом** - месильный орган тестомесильной машины и ножи-надрезчики надрезающего устройства.

Научная новизна. На основе анализа интенсивности отказов хлебопекарного оборудования осуществлён выбор наиболее изнашивающихся деталей и рабочих органов в соответствии с последовательностью технологических операций приготовления хлебных изделий.

Установлены особенности коррозионно-стойких алюминиевых металлизационно-полимерных лакокрасочных покрытий путём изучения характера сцепления металлизационного подслоя из алюминия с основой и полимерного материала при напылении металла электродуговым способом, а также покрытий, полученных на основе термической обработки, химического кислого оксидирования термически обработанной поверхности детали и последующего нанесения лакокрасочного покрытия.

Теоретически обоснованы режимы предварительной обработки изношенной поверхности рабочего органа тестомесильной машины, приводящей к повышению прочности сцепления её с металлизационным покрытием, и режимы предварительной термической обработки поверхности ножа-надрезчика закалкой и отпуском, повышающей поверхность твёрдость изношенной детали.

Получены кривые зависимости микротвёрдости от толщины защитных покрытий и времени, необходимого для повреждения защищённой поверхности, от толщины покрытия. Получены термические кривые высокочастотной закалки и отпуска. Сформулированы требования к коррозионно-стойким поверхностным слоям, структура одного из которых должна представлять собой металлизационно-полимерную зону из алюминия и соответствующего полимерного лакокрасочного материала, а другого - пористую оксидную плёнку, полученную на термообработанной поверхности и пропитанная лакокрасочным слоем. Проведён выбор рациональных режимов уп-

рочняющей технологии, обеспечивающих формирование противокоррозионных защитных покрытий.

Практическая ценность. Разработанные технологии упрочнения месильного органа (лопастей) тестомесильной машины и ножей-надрезчиков надрезающего устройства характеризуются высокой производительностью, требуют наименьших затрат на проведение противокоррозионных работ, отличаются доступностью и простотой применяемых материалов, средств механизации и оборудования для нанесения покрытия.

Внедрение данных технологий увеличивает срок службы хлебопекарного оборудования в несколько раз, уменьшает производственные затраты на замену и ремонт оборудования и увеличивает годовой объём выпуска продукции.

Для определения экономического эффекта, получаемого от использования тестомесильной машины с упрочнёнными лопастями и надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками, результаты диссертации были внедрены на Гянджинском АО “Чурек”. Годовой экономический эффект за счёт повышения коррозионной стойкости рассматриваемых деталей и рабочих органов хлебопекарных оборудований составил 12.583,38 манат.

Апробация работы. Результаты исследовательской работы докладывались и обсуждались в научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (2001, Гянджа), VII Республиканской научной конференции аспирантов и юных исследователей (2001, Баку), научно-практической конференции “Передовая техника и технология в пищевой, лёгкой промышленности и научно-методические проблемы обучения” (2003, АТУ, Гянджа), Гянджинском Региональном Научном Центре НАНА (2008, 2013, Гянджа), в Азербайджанском Технологическом Университете (2008, Гянджа), научно-технической конференции “Новые технологии и научно-технические достижения промышленности - человеку, обществу, государству”, ПРОМТЕХЭКСПО XXI (2009, Москва, Россия), международной научно-практической конференции “Инновационные технологии и современные материалы” (2010, Кутаиси, Грузия), Азербайджанском Государственном Аграрном Университете (2012, Гянджа) в научно-теоретическом журнале “Аграрная наука Азербайджана” (2013 год, Баку), в научно-теоретическом и производственном журнале “Аграрная наука” (2013 год, г. Москва).

Публикации. Основные теоретические и практические резуль-

таты диссертационных исследований опубликованы в 12 научных статьях, тезисах и материалах научно-технических конференций.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка использованной литературы, включающей 153 наименований. Содержание диссертации изложено на 170 страницах компьютерного текста, включающее 28 рис., 25 табл. и приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, определены цель и задачи исследований и обоснована актуальность рассматриваемой проблемы.

Первая глава посвящена анализу видов изнашивания деталей и рабочих органов хлебопекарного оборудования и способов повышения их износостойкости, и задачам исследования. В соответствии с последовательностью технологических операций хлебопекарного производства проведён анализ интенсивности отказов и определён срок службы деталей и рабочих органов оборудования поточных линий приготовления пшеничного теста, выявлена номенклатура быстро изнашиваемых деталей и рабочих органов.

В данной главе приведена полная характеристика технологических сред и условия эксплуатации быстро изнашиваемых деталей и рабочих органов. Проведён анализ существующих средств увеличения износостойкости деталей и рабочих органов хлебопекарного оборудования в соответствии с изученными технологическими средами и условиями их износа.

Наибольший интерес в исследованиях вызвали детали и рабочие органы высокопроизводительного хлебопекарного оборудования, подверженные коррозионно-механическому износу. Как показал обзор литературы, наиболее распространёнными способами защиты от коррозии хлебопекарного оборудования является использование немаetalлических химически стойких материалов и проведение химикотермической обработки.

Следует отметить работы Роменского Н.П., Супрунчука В.К., Шалманова В.В., Сологуба С.Н., Пилипенко С.Н., Тимофеевой Н.Ю., Прейса Г.А., Житникова В.А. и других, в которых определены виды износа деталей оборудования предприятий пищевой промышленности

(мясной, хлебопекарной, кондитерской, сахарной, молочной и др.) и разработаны средства борьбы с износом.

Высокая стоимость антикоррозионной защиты обуславливает одно из требований научно-технического прогресса. При применении антикоррозионных средств защиты нужно быть уверенным, что затраты на уход будут сокращены до минимума, а опасность коррозии практически исключена.

Поэтому **основной целью** диссертационной работы определено создание на поверхности деталей и рабочих органов хлебопекарного оборудования таких защитных систем, которые обладали бы одновременно экономичностью, высокой конструктивной прочностью и надёжностью сцепления.

Для достижения этой цели определены следующие **задачи исследований**:

- теоретически исследовать и обосновать состав и структуру износостойких противокоррозионных поверхностных покрытий;
- разработать программу и методику проведения исследований;
- установить условия формирования противокоррозионных защитных покрытий на поверхности деталей и рабочих органов с заданными свойствами и оптимальные значения параметров защитных покрытий;
- провести расчет фактического годового экономического эффекта от использования упрочнённых деталей и рабочих органов хлебопекарного оборудования;
- дать оценку экономической эффективности разработанных технологий противокоррозионной защиты.

Во второй главе приведена характеристика объектов исследований, представлена программа и методика исследований, в которую включены следующие задачи:

1. Теоретически исследовать и обосновать состав и структуру разработанных противокоррозионных покрытий.
2. Установить порядок проведения противокоррозионных работ.
3. Дать характеристику оборудования, необходимого при формировании покрытий.
4. Исследовать условия формирования защитных покрытий и определить оптимальные параметры проводимых работ.
5. Определить экономические показатели: показатель затрат, уславливающий экономическую целесообразность применения противокоррозионной защиты месильного органа тестомесильной машины и

ножей-надрезчиков надрезающего устройства; расчёт фактического годового экономического эффекта от внедрения тестомесильной машины с упрочнённым месильным органом и надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками; срок окупаемости дополнительных капитальных затрат.

При выполнении исследований пользовались методикой, изложенной в ГОСТ 9450-76 “Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников”. Согласно ТУ 2312-006-23394220-2004 “Технические условия. Б-ЭП-5297” изучены свойства эмали Б-ЭП-5297 и теоретически исследованы условия его нанесения на термообработанную и оксидированную поверхность ножей-надрезчиков.

Оценку экономической эффективности противокоррозионной защиты рабочего органа (лопастей) тестомесильной машины и ножей-надрезчиков надрезающего устройства проводили по известной методике.

Третья глава посвящена исследованию повышения коррозионной стойкости деталей и рабочих органов оборудования хлебопекарной промышленности. Рассмотрены вопросы упрочнения рабочего органа (лопастей) тестомесильной машины формированием металлизационно-полимерного покрытия на основе алюминия и полимерной лакокрасочной композиции.

Проведенные исследования показали, что месильный орган тестомесильной машины подвергается в процессе эксплуатации коррозионно-механическому износу, а точнее, её разновидности – коррозионному растрескиванию. Установлено, что месильный орган тестомесильной машины, изготавливаемый из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, работает в кислой среде (рН 5) при температуре 28–30°C.

Для повышения её коррозионной стойкости была разработана технология упрочнения, состоящая из предварительной подготовки поверхности рабочего органа тестомесильной машины, нанесения электродуговым способом металлизационного алюминиевого слоя на подготовленную рабочую поверхность и последующего нанесения 3-х слойной лакокрасочной композиции системы эмаль-грунтовка.

Предварительную дробеструйную очистку стальной поверхности лопастей тестомесильной машины проводили механическим способом. В качестве материала рекомендован металлический песок - колотая стальная (ДСК) или колотая чугунная дробь (ДЧК). Размеры частиц должны составить 0,8-1,2 мм. Температура окружающего воздуха не ниже 10°C, относительная влажность не выше 70%.

Для механической очистки рекомендован ручной дробеструйный пистолет ПД-1, с расходом воздуха 2,7 м³/мин, давлением воздуха 0,5-0,6 МПа, производительностью 1,2 м²/ч. Расстояние сопла аппарата до обрабатываемой поверхности месильного органа должна составить 100-150 мм. Диаметр сопла аппарата 6-8 мм.

Для металлизации поверхности рабочего органа тестомесильной машины рекомендуется алюминий, так как в агрессивных пищевых средах образует прочную защитную плёнку и при напылении обеспечивает получение покрытия с большей пористостью, равной 14%.

Нанесение электродуговым способом металлизационного алюминиевого слоя на подготовленную рабочую поверхность необходимо осуществлять ручным электродуговым металлизатором ЭМ-14. В качестве материала для нанесения металлизационного покрытия рекомендована алюминиевая сварочная проволока А5 диаметром 1,2-2 мм. Напряжение при постоянном токе должно составить 25-30 В, давление сжатого воздуха 0,5-0,6 МПа, средняя скорость частиц 120-140 м/с, скорость подачи алюминиевой проволоки 2-5 м/мин. Температура поверхности основы должна быть до 50-70⁰С.

Схема работы металлизатора представлена на рис. 1.

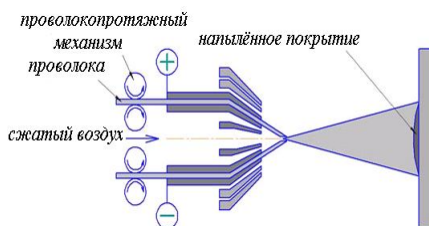


Рис. 1. Схема работы металлизатора

Минимальную толщину алюминиевого покрытия, полученного металлизационным способом на рабочей поверхности детали выбрали из следующего ряда толщин, *мкм*:

30;40;50;60;80;100;120;160;200;250;300.

Согласно методике по ГОСТ 9450-76 теоретически определяли микротвердость покрытия. При испытаниях по методу восстановленного отпечатка на микротвердость материалов с малой толщиной испытуемого слоя (покрытия) и небольшой твердостью (алюминий)

рекомендуем применять алмазный наконечник с формой рабочей части в виде четырёхгранной пирамиды с ромбическим основанием.

Для четырёхгранной пирамиды с ромбическим основанием число микротвердости ($H_\diamond$) необходимо определять по формуле:

$$H_\diamond = 1,313 \frac{F}{l_\diamond^2}, \quad (\text{если } F \text{ выражена в ньютонах}); \quad (1)$$

где F - нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, Н;

$l_\diamond$ - размер отпечатка.

Для мезильного органа характерна пластическая деформация, а согласно литературным данным при малых глубинах внедрения индентора область конечных пластических деформаций мала. Границы этого интервала определяются из неравенства:

$$0 < h \leq \frac{\Delta_n^2}{r \left(1 + \frac{2\tau}{\sigma_T} \right)}, \quad (2)$$

где h - глубина внедрения индентора;

Δ_n - толщина покрытия;

r - радиус сферического индентора;

τ - касательное напряжение на контактном контуре индентор-покрытие;

σ_T - предел текучести материала покрытия.

Используя данное неравенство для нашего случая, получим:

$$0 < h \leq \frac{\delta^2}{l_\diamond \left(1 + \frac{2\tau}{\sigma_T} \right)}, \quad (3)$$

где h - глубина внедрения алмазного наконечника с ромбическим основанием;

δ - толщина покрытия;

$l_\diamond$ - размер отпечатка.

Согласно данным литературы для пары трения метал-метал без смазки сдвиговое сопротивление τ составляет $0,25 \div 3$ кгс/мм², а для алюминия - 3 кгс/мм². Предел текучести σ_T для алюминия А5 составляет 39,2 МПа. При испытании образца на микротвердость вдавливанием применяли нагрузки 0,049 (0,005); 0,0981 (0,01); 0,1962

(0,02); 0,4905 (0,05); 0,981 (0,1); 1,962 (0,2) или 0,0491 (0,005); 0,0981 (0,01); 0,1962 (0,02); 0,4905 (0,05); 0,981 (0,1); 1,962 (0,2); 4,905 (0,5) Н (кгс).

На основе теоретических предпосылок установили значения нормальной нагрузки (F), приложенной к алмазному наконечнику, толщину покрытия δ и размер отпечатка. Согласно им рассчитали микротвердость $H_\diamond$ алюминиевого металлизационного покрытия.

Из формулы (3) следует, что

$$hl_\diamond = \frac{\delta^2}{1 + \frac{2\tau}{\sigma_T}} \quad (4)$$

Тогда, используя данные для δ, τ, σ_T , получим следующие значения $hl_\diamond$, мкм: 2,5; 3,95; 5,7; 10,1; 15,8; 21; 25. Принятые данные и результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Необходимые данные и результаты расчёта микротвердости

Толщина покрытия δ , мм	Нагрузка F, Н	Размер отпечатка, $l_\diamond$, мм	Микротвёрдость $H_\diamond$, МПа
0,08	0,049	$8,7 \cdot 10^{-3}$	850
0,1	0,080	$10,95 \cdot 10^{-3}$	878
0,12	0,120	$13,19 \cdot 10^{-3}$	906
0,16	0,220	$17,55 \cdot 10^{-3}$	938
0,2	0,350	$21,98 \cdot 10^{-3}$	951
0,23	0,4905	$25,3 \cdot 10^{-3}$	1006
0,25	0,800	$27,6 \cdot 10^{-3}$	1379

Коррозионная стойкость алюминия в наиболее агрессивных средах по десятибалльной шкале в среднем составляет 4 балла, что соответствует по группе стойкости к стойким металлам, соответственно скорость коррозии составляет $0,01 \div 0,05$ мм/год. Приняв скорость коррозии алюминия равной 0,015 мм/год, а толщины покрытия (δ), в мкм соответственно 80; 100; 120; 160; 200; 230; 250, теоретически установили время повреждения 10% защищённой стальной поверхности: соответственно 6,4; 8,0; 9,6; 12,8; 16,0; 18,4; 20,0 (мес.).

График зависимости времени, необходимой для повреждения

10% стальной поверхности образца, защищённой алюминиевым покрытием, от толщины этого покрытия в присутствии агрессивных агентов (теста) показан на рис. 2.

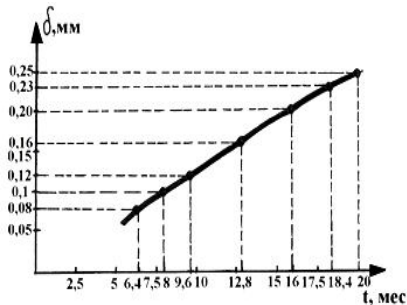


Рис. 2. Продолжительность сохранения защитных функций металлизационного алюминиевого покрытия (при повреждении коррозией 10% поверхности стали)

Согласно графику, для повреждения 10% стальной поверхности, защищённой алюминиевым металлизационным покрытием, толщиной 250 мкм, потребуется 20 месяцев работы. На металлизированную поверхность несильного органа предлагается нанести лакокрасочную полимерную композицию системы эмаль–грунтовка, состоящую из 3-х слоёв: жидкого грунтовочного (пропиточного) слоя ЭП–01 на основе эпоксидной смолы и 2-х защитных покровных слоёв ПКС–71 на основе эпоксидной смолы и отвердителя полиэтиленполиамин (ПЕПА).

Грунтовочный слой обладает высокой пропитывающей и смачивающей способностью, что обеспечивает лучшее сцепление вследствие заполнения им пор алюминиевого подслоя. Грунтовочный слой следует наносить с помощью кисти при температуре окружающего воздуха не ниже 15°C и относительной влажности не более 70%.

Два покровных защитных слоя следует наносить методом пневматического распыления с подогревом при помощи установки УГО-5М. При этом температура окружающего воздуха должна быть не ниже 15°C , относительная влажность не более 70%. Давление сжатого воздуха и лакокрасочного материала должна быть в пределах $0,2 \div 0,4 \text{ МПа}$.

Расстояние от головки сопла краскораспылителя до поверхности должно быть $300 \div 400$ мм. Скорость равномерного передвижения краскораспылителя должна составить $14 \div 18$ м/мин. Толщина грунто-

вочного слоя должна составить $30 \div 50$ мкм; двух покровных слоёв - 200 мкм, а общая толщина всего полимерного покрытия - $230 \div 250$ мкм.

Каждый полимерный слой рекомендуется подвергать сушке электровоздухонагревателем ЭВП-1,6 при температуре $18-23^{\circ}\text{C}$ в течение $18 \div 24$ часов для грунтовочного слоя и первого защитного покровного слоя, при температуре $18-23^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов для второго защитного покровного слоя.

После сушки рекомендуется подвергать все полимерное покрытие термообработке, которая должна длиться до полной его полимеризации по ступенчатому режиму сушки при температуре: $18 \div 23^{\circ}\text{C}$ в течение 28 часов; $60 \div 80^{\circ}\text{C}$ – 6–8 часов; 120°C – 3 часа.

Металлизационное электродуговое напыление алюминия и последующее нанесение 3-х слойного лакокрасочного покрытия обеспечивает создание металлизационно-полимерного покрытия, толщиной $480 \div 500$ мкм.

В третьей главе рассмотрены также вопросы упрочнения ножей-надрезчиков тестовых заготовок. Технология упрочнения ножей-надрезчиков надрезающего устройства состояла из термической обработки стальной поверхности ножа-надрезчика, проведения химического кислого оксидирования и последующего нанесения лакокрасочного покрытия. Рекомендуемый способ термической обработки состоял из поверхностной закалки в специальных установках с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) и последующего низкого отпуска. Для ножа-надрезчика тестовых заготовок, являющегося деталью простой формы, необходимую для него частоту тока определяли по следующей формуле:

$$f = \frac{5 \cdot 10^4}{\delta^2} \quad , \quad (5)$$

где δ - глубина закалённого слоя.

Для поверхностной высокочастотной закалки поверхности ножа-надрезчика рекомендуется применить машинные генераторы с частотой тока 8000 Гц, обеспечивающих получение закалочного слоя глубиной 2,5 мм.

Охлаждение при закалке углеродистой стали марки У8 должна происходить со скоростью выше критической ($\nu_{кр}$). Для углеродистых сталей ($\nu_{кр}$) составляет от 1400 до $400^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

В качестве охлаждающей среды для углеродистых сталей рекомендуем выбрать воду при температуре 20-30°C. При закалке детали необходимо переохладить аустенит до температуры M_H путём быстрого охлаждения стали при температурах наименьшей устойчивости аустенита, т.е. при 650÷550°C. Согласно табличным данным при температуре воды 28°C скорость охлаждения ножа-надрезчика при 650–550°C составит 500°C/с.

Образцы деталей из углеродистой стали марки У8, рекомендуются обрабатывать закалкой ТВЧ в воде при температуре нагрева 770-800°C в интервале 2-8 сек. в течение 2-5 сек. на глубину 2-5 мм при частоте тока 8000 Гц. Термическая кривая высокочастотной закалки образца из углеродистой стали марки У8 представлена на рис. 3.

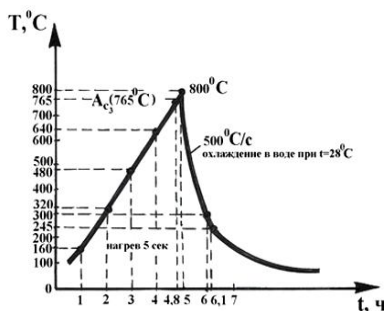


Рис.3. Термическая кривая высокочастотной закалки

При перегреве выше температуры A_{c3} в структуре нагреваемой стали увеличивается количество аустенита. Скорость нагрева при переходе к температуре 800°C начинает сильно снижаться. Скорость охлаждения поверхности стального образца в начале закалки водой при температуре 28°C составляет 500°C/с, при достижении 200°C она замедляется, составляя 100°C/с, а затем ещё менее.

Температура нагрева поверхности стального образца составляет 770-800°C, которая соответствует вишнёво-красному цвету каления, а время нагрева—2-5 сек. Время, необходимое для достижения температуры 800°C, должно составить 5 сек. Следовательно, скорость нагрева при закалке ТВЧ будет 160°C/с.

Для ножа-надрезчика требуется повысить твёрдость и износостойкость. Повышение же твёрдости отпущенной стали происходит при его втором фазовом превращении при температуре 200-260°C. При

установлении времени выдержки принимали во внимание толщину образца с расчётом 1 мин на 1мм. Для образца из углеродистой стали марки У8 толщиной 20мм оно составит 20 мин.

Назначены температуры отпуска 200; 250; 300; 400; 600 (°C) и соответствующие им времена выдержки 2 часа, 1 час, 45 мин., 40 мин., 35 мин., 30 мин. или же 2; 1; 0,75; 0,66; 0,58; 0,5 (часов). На рис. 4 показана зависимость температуры отпуска ($T, ^\circ\text{C}$) от времени выдержки ($t, \text{ч}$).

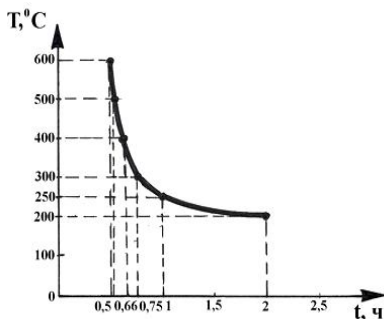


Рис.4. Зависимость температуры отпуска от времени выдержки

Нагревая образец в течение необходимого времени, ждут появления на поверхности образца цвета побежалости. При температуре отпуска 200-250 $^\circ\text{C}$ цвет образца из стали марки У8 должен стать от светло-соломенного (при 200 $^\circ\text{C}$) до светло-коричнево-жёлтого (при 250 $^\circ\text{C}$). Для образца из углеродистой стали рекомендуется медленное охлаждение в течение 30–40 мин. После такого отпуска получается структура, называемая отпущенным мартенситом.

С целью противокоррозионной защиты стальной поверхности ножа–надрезчика тестовых заготовок рекомендуется провести после термической обработки химическое кислотное оксидирование в ваннах из нержавеющей стали без футеровки с электрическим подогревом объёмом 300 л. Для химического оксидирования термообработанной углеродистой стальной детали (ножа–надрезчика) рекомендуется применить кислый раствор следующего состава: ортофосфорная кислота (6–10мл/л), перекись марганца (2–3г/л), азотнокислый барий (20–80 г/л) и азотнокислый цинк (2–4 г/л). Оксидирование необходимо проводить при температуре 95 $^\circ\text{C}$ в течение 10–15 минут.

На оксидированную поверхность ножа-надрезчика предлагается нанести лакокрасочное эпоксидное покрытие из пищевой двухкомпонентной эмали Б-ЭП-5297 (Эповин), состоящей из основы (суспензия

пигментов и наполнителей в эпоксидных смолах) и отвердителя (смесь амидных отвердителей). Эмаль Б-ЭП-5297 обладает свойствами грунт-эмали; устойчиво к статическому воздействию молочной кислоты; не содержит в своём составе органических растворителей; позволяет наносить покрытие необходимой толщины за один слой; покрытие обладает высокими противокоррозионными свойствами.

Рекомендуемое лакокрасочное эпоксидное покрытие должна состоять из двух слоёв: грунтовочного и покровного. Рекомендуемая толщина каждого слоя 150-200 мкм, а общая толщина покрытия должна составлять 350-400 мкм. Рекомендуем наносить эмаль Б-ЭП-5297 методом пневматического распыления с подогревом с помощью установки УГО-5М.

В третьей главе также представлена статистическая обработка результатов исследований.

В четвертой главе проведена оценка экономической эффективности противокоррозионной защиты рабочих органов и деталей хлебопекарного оборудования, определены экономическая целесообразность применения разработанных технологий противокоррозионной защиты. Проведён расчёт фактического годового эффекта от внедрения тестомесильной машины с упрочнённым месильным органом (лопастями) и надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками.

Годовой экономический эффект от внедрения тестомесильной машины с упрочнённым месильным органом составил 1127,69 манат, от внедрения надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками - 1455,69 манат, а общий годовой экономический эффект составил 12583,38 манат.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведён анализ технологических сред, условий эксплуатации и интенсивности отказов деталей и рабочих органов хлебопекарного оборудования. Выявлена номенклатура наиболее быстроизнашивающихся деталей и рабочих органов в соответствии с последовательностью технологических операций хлебопекарного производства и проведена классификация их в зависимости от вида изнашивания.

2. Выявлены детали и рабочие органы, работающие в коррозионно-активных средах и подвергнутые коррозионно-механическому износу;

сформулированы требования к выбираемым материалам защитного слоя и его свойствам.

3. Разработана технология упрочнения изношенной поверхности месильного органа тестомесильной машины комбинированным металлизационно-полимерным покрытием на основе алюминия и полимерной лакокрасочной композиции, обладающих конструктивной прочностью и стойкостью в условиях коррозионно-механического изнашивания.

4. Теоретически обоснованы состав, структура и режимы формирования износостойкого противокоррозионного металлизационно-полимерного покрытия. Получена кривая изменения микротвёрдости алюминиевого металлизационного слоя в зависимости от толщины покрытия, а также кривая зависимости времени, необходимого для повреждения защищённой поверхности, от толщины покрытия.

5. Разработана технология упрочнения поверхности ножей-надрезчиков тестовых заготовок, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания. Технология включает предварительную термическую обработку стальной поверхности, состоящую из закалки ТВЧ и низкого отпуска, проведения химического кислого оксидирования термообработанной стали и последующего нанесения лакокрасочного покрытия.

6. Получена термическая кривая высокочастотной закалки и кривая зависимости температуры отпуска от времени выдержки. Установлены оптимальная температура и время закалки и отпуска; определены компоненты и количество растворов для химического кислого оксидирования и режимы обработки; обоснован выбор лакокрасочного покрытия, обеспечивающее сильное сцепление с пористой оксидной плёнкой и стойкость к коррозии в течение длительного времени.

7. Проведены расчёты фактического годового экономического эффекта от использования на Гянджинском АО “Чурек” тестомесильной машины с упрочнённым месильным органом и надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками. Установлено повышение износостойкости упрочнённого месильного органа тестомесильной машины в среднем 4-5 раз. Фактический годовой экономический эффект от использования тестомесильной машины с упрочнённым месильным органом и надрезающего устройства с упрочнёнными ножами-надрезчиками составил 12583,38 манат.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Годжаев Т.Б., Гусейн-заде Х.С. Технологические улучшения трущихся поверхностей стальных деталей оборудования предприятий хлебопекарной промышленности / Тезисы докл. научно-практической конференции студентов, магистров и аспирантов. Гянджа, 2001, с. 53-55

2. Гусейн-заде Х.С. Вопросы повышения долговечности деталей оборудования предприятий хлебопекарного и кондитерского производств / Тезисы VII Республиканской научной конференции аспирантов и юных исследователей. Баку, 2001, с. 417-419

3. Гусейн-заде Х.С. По вопросу о противокоррозионной защите стальных деталей оборудования пищевых предприятий / Материалы научно-практической конференции “Передовая техника и технология в пищевой, лёгкой промышленности и научно-методические проблемы обучения”, посвящённая 85-летию Азербайджанской Демократической Республики. Гянджа, 2003, с. 39-40

4. Годжаев Т.Б., Гусейн-заде Х.С. Обзорный анализ путей повышения долговечности трущихся стальных деталей оборудования предприятий хлебопекарной промышленности // Сборник известий Гянджинского Регионального Научного центра, 2008, № 31, с. 107-109

5. Гусейн-заде Х.С. Особенности существующих методов и средств противокоррозионной защиты стальных деталей хлебопекарного оборудования // Научные вести Азербайджанского Технологического Университета, 2008, № 7-8, с. 96-100

6. Гусейн-заде Х.С. Противокоррозионная защита рабочих органов хлебопекарного оборудования // “Экономика и производство”, приложение “Журнал депонированных рукописей”. Труды научно-технической конференции “Новые технологии и научно-технические достижения промышленности: человеку, обществу, государству”, ПРОМ-ТЕХЭКСПО XXI. М.: 2009, № 3, с. 3-6

7. Гусейн-заде Х.С. Перспективность применения некоторых методов противокоррозионного поверхностного упрочнения в рабочих органах хлебопекарного оборудования // “Экономика и производство”, приложение “Журнал депонированных рукописей”. Труды научно-технической конференции “Новые технологии и научно-технические достижения промышленности: человеку, обществу, государству”, ПРОМ-ТЕХЭКСПО XXI. М.: 2009, № 6, с. 3-6

8. Гусейн-заде Х.С. Особенности технологии нанесения противокоррозионного защитного покрытия поверхности деталей хлебопекарного оборудования и преимущества её применения / Труды международной научно-практической конференции “Инновационные технологии и современные материалы”. Кутаиси, Госуд. Унив. Акакия Церетели, 2010, с. 28-30

9. Годжаев Т.Б., Гусейн-заде Х.С. О новой технологии защиты от коррозии оборудования хлебопекарной промышленности // Научные труды Азерб. Госуд. Аграр. Ун-та, 2012, № 2, с. 40-45

10. Гусейн-заде Х.С. Технология формирования эффективного коррозионностойкого защитного покрытия на поверхности рабочего органа хлебопекарного оборудования // Аграрная Наука Азербайджана, 2013, № 3, с. 151-156

11. Гусейн-заде Х.С. Технологии противокоррозионного упрочнения поверхности ножей-надрезчиков тестовых заготовок // Аграрная наука, 2013, № 12, с.26-28

12. Годжаев Т.Б., Гусейн-заде Х.С. Методика создания противокоррозионного покрытия на поверхности ножей-надрезчиков тестовых заготовок и перспективность разработанной технологии упрочнения // Сборник известий Гянджинского Регионального Научного центра НАНА, 2013, № 54, с. 109-115

Həcər Siyavuş qızı Hüseynzadə

Çörəkbişirmə sənayesi avadanlıqlarında işçi orqan və detalların səthlərinin möhkəmləndirilməsi üsulu ilə onların yeyilməyə dözümlülüyünün yüksəldilməsinin tədqiqi

Xülasə

Dissertasiya işi çörəkbişirmə sənayesi avadanlıqlarında işçi orqan və detalların səthlərinin möhkəmləndirilməsi üsulu ilə onların yeyilməyə dözümlülüyünün yüksəldilməsinə həsr edilmişdir.

Tədqiqatın məqsədi texnoloji çörəkbişirmə avadanlığının detal və işçi orqanlarının davamlılığının faydalılığa, yüksək konstruktiv möhkəmliyə və etibarlılığa malik qoruyucu sistemlərin yaradılması əsasında səthlərinin möhkəmləndirilməsi yolu ilə yeyilməyə dözümlülüyünün yüksəldilməsindən ibarətdir.

Dissertasiya giriş, dörd fəsil, əsas nəticələr, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı və əlavədən ibarətdir.

Girişdə işin ümumi xarakteristikası verilmiş, tədqiqatların məqsədi və baxılan problemin aktuallığı müəyyən olunmuşdur.

Birinci fəsil çörəkbişirmə avadanlıqlarının detal və işçi orqanlarının aşınma növləri və onların davamlılığının yüksəldilməsi üsullarının təhlilinə və tədqiqat məsələlərinə həsr olunmuşdur.

İkinci fəsildə tədqiqat obyektlərinin xarakteristikası verilmiş və tədqiqatların proqramı, metod və vasitələri şərh olunmuşdur.

Üçüncü fəsil çörəkbişirmə sənayesi texnoloji avadanlıqlarının detal və işçi orqanlarının korroziyaya davamlılığının artırılmasının tədqiqinə həsr olunmuşdur. Burada xəmiryoğuran maşınların işçi orqanının (pərlərinin) alüminium və polimer lak-boya kompozisiyası əsasında metallaşdırılmış polimer örtüyün formalaşması ilə möhkəmləndirilməsi məsələləri araşdırılmışdır.

Burada eləcə də tədqiqat nəticələrinin statistik emalı verilmişdir.

Dördüncü fəsildə çörəkbişirmə avadanlığının işçi orqan və detallarının korroziyaya qarşı müdafiəsinin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi aparılmış və işlənmiş texnologiyaların məqsədəuyğunluğu müəyyən edilmişdir.

Hacar Siyavush Huseynzade

Study of increase wear resistance and working bodies of the bakery industry equipment by hardening of their surface

Summary

The aim carried out researches is to improve wear resistance and the working bodies of the baking process equipment by hardening of their surface, founded by on the creation o protective systems with economical, high structural strength and reliability of the clutch.

Developed a technology for hardening the surface of a worn mixing arm mixing machine combined metallized polymeric-coating aluminum based paint and polymeric compositions having structural strength and stability in corrosive and mechanical wear. Theoretically investigated and substantiated the composition, structure and modes of the coating. Are given conditions application of aluminum metallization layer defined by its micro hardness

variation curve received micro hardness metallized aluminum layer depending on the coating thickness and the curve of time required to damaging the protected surface, on coating thickness. According to them established the optimum thickness metallized the aluminide coating and the time required for 10% damaging the steel surface of the coating protected thickness. In the dissertation work is disclosed the composition of paint and varnish the polymeric composition of enamel prime, and the methods and the conditions of its application. Installations that the total thickness of the polymer coating, metallized be 480-500 micrometers.

Developed the technology of surface hardening knives end mills of dough pieces, also working in conditions of fretting, This technology is includes the provisional thermal treatment of steel surface consisting of tempering currents a high frequency and low tempering, acid oxidation of the chemical heat-treated steel and the subsequent drawing paint coating. Chosen are paint coating B-EP-5297, which consisted a primer and covering layer. The recommended thickness of each of them 150-200 micrometers. Are given conditions drying of two-layer paint coating.

The calculations of the actual annual economic effect of the use of Ganja-Stock Company “Churek” mixing machine with reinforced kneading and a scoring the device with hardened knives end mills.

Found that the actual annual economic effect from their introduction will be AZN 12,583.38.

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNIVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

HƏCƏR SİYAVUŞ QIZI HÜSEYNZADƏ

**ÇÖRƏKBİŞİRMƏ SƏNAYESİ AVADANLIQLARINDA İŞÇİ
ORQAN VƏ DETALLARIN SƏTHLƏRİNİN
MÖHKƏMLƏNDİRİLMƏSİ ÜSULU İLƏ YEYİLMƏYƏ
DÖZÜMLÜLÜYÜNÜN YÜKSƏLDİLMƏSİNİN TƏDQIQI**

3313.01- Maşınqayırma texnologiyası

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim olunmuş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ–2014