



УДК 533.6.001.8

Б.Ж. Бекбауов, К.Е. Арыстанбаев, А.Т. Апсеметов
ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA-СИСТЕМЫ «ЭНТЕК» ДЛЯ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА
ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Осуществление инновационного развития университета и получение эффективного научного результата невозможно без использования технических новинок. Поэтому исследовательские университеты активно оснащаются учебным и научным оборудованием, и энергопотребление университета постоянно растет. Существует большое разнообразие энергетических ресурсов и методов их преобразования. Наиболее используемым является органическое топливо: нефть, уголь, природный газ, а также ресурсы преобразования энергии управляемой цепной ядерной реакции деления и гидроресурсы рек. К менее используемым можно отнести ресурсы солнечной радиации, ветрового потока, биомассы, геотермики, мирового океана.

В настоящее время подавляющую часть всей энерговыработки составляют органические топлива, они относятся к невозобновляемым источникам энергии, близким к истощению. Поэтому встает вопрос об использовании технологии энергосбережения с целью сохранения природных ресурсов, что, в свою очередь, также экономит денежные средства. При этом основной целью в реализации рационального производства является энергоэффективность. Энергоэффективность и энергосбережение формируют соответствующие тенденции во всех областях производства, связанного с технологиями, использующими источники энергии. Устройство для экономии электроэнергии создается с постоянным внедрением в его структуру инновационных технологий, которые становятся все более совершенными, в принципиальных и технических особенностях.

В данной работе предлагается метод адаптивного регулирования фотоветроэлектроэнергетической установкой (ФВЭУ), позволяющей оптимально распределить электроэнергию в учебном корпусе и получить электростанцию в качестве лаборатории для проведения научных исследовательских работ, а также применить программный продукт SCADA-системы «ЭНТЕК» для повышения эффективности использования электроэнергии в учебных корпусах.

Необходимо отметить, что несмотря на кажущуюся простоту автономных ФВЭУ, она является обманчивой, и в настоящее время не разработано оптимального алгоритма управления энергораспределением для этих систем в условиях дефицита вырабатываемой мощности [1].

Она включает следующие подсистемы (установки):

- фотоветроэлектроэнергетическую установку (ФЭУ);
- ветроэлектроэнергетическую установку средней мощности (ВЭУ);
- аккумуляторную батарею (накопитель);
- потребитель, состоящий из нагрузок с двумя уровнями приоритетности;
- систему автоматизированного управления (САУ).

Текущее состояние энергоресурсов системы определяется текущей мощностью первичных энергоресурсов, а также запасом энергии в накопителе. Потребность в мощности энергоустановки определяется потребителем, включающим нагрузки различной приоритетности.

В силу низкой предсказуемости и высокой динамичности как потребляемой мощности, так и поступления возобновляемой энергии, а также зависимости последней от погоды, времени суток и региона, алгоритм управления энергораспределением ФВЭУ не может быть разработан в готовом виде при изготовлении системы и должен обладать высокой степенью интеллектуальности и адаптивности.

Целью данной работы является наиболее полное и бесперебойное снабжение учебного корпуса электроэнергией при ее неравномерном потреблении.

В модели ФВЭУ, предложенной в работе [2], все нагрузки методом экспертной оценки были разделены на 4 группы приоритетности. Однако отнесение нагрузок к той или иной группе, а также определение весового коэффициента приоритетности этих групп носят усредненный характер по всем потребителям и не учитывают степень важности этих нагрузок для конкретного индивидуального потребителя.

В данной работе нами предложен вариант системы автоматического управления (САУ), при котором обеспечивается достижение цели управления с учетом критериев путем выбора наиболее рационального режима энергораспределения ФВЭУ:

- в условиях существующего или прогнозируемого дефицита энергии осуществляется распределение нагрузки с учетом приоритетов;

- при избытке вырабатываемой энергии осуществляется ее накопление.

Выбор режима энергораспределения осуществляется на основе анализа информации о текущем состоянии ФВЭУ и будущем состоянии первичных энергоресурсов (см. табл.).

Варианты управления ФВЭУ

Накопитель	Актуальный и прогнозируемый энергетический баланс ФВЭУ	
	Избыток	Недостаток
Есть	Излишки энергии не теряются, а поступают в накопитель.	Дефицит энергии восполняется за счет накопителей.
Нет	Согласование энергетических параметров нагрузки и источников в целях получения максимальной мощности при данном уровне поступления возобновленной энергии.	Поддержание оптимального соответствия между нагрузкой и преобразователями возобновляемой энергии путем включения и отключения необходимого числа потребителей в соответствии с их категорийностью.

Для рассматриваемой реализации САУ в работе [2] на основе имитационного алгоритма были получены конкретные рекомендации по выбору оптимального режима энергораспределения. При этом использовалась информация о текущем состоянии ФВЭУ и будущем состоянии первичных возобновляемых источников энергии.

Для осуществления адаптивного регулирования ФВЭУ предполагается использование программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК 300. Для его программирования выбрана технологическая платформа EnLogic с открытой архитектурой и реализации коммуникационных шлюзов и конвертеров протоколов. EnLogic состоит из исполнительной системы, выполняющейся в контроллере, и инструментальной среды разработки,

функционирующей на платформе Win32. EnLogic является базовой составляющей SCADA-системы «ЭНТЕК» и в ее составе отвечает за все коммуникации с модулями ввода-вывода, контроллерами, обработку данных по технологическим алгоритмам пользователя.

В данной работе алгоритм программируемого логического контроллера (ПЛК) учитывает степень важности нагрузок распределения электрической сети в учебных корпусах, так как значимость некоторых исследовательских работ сильно зависит от бесперебойного обеспечения электроэнергией в течение нескольких дней, а то и недель.

Цель управления достигается:

- путем выбора оптимального режима энергораспределения ФВЭУ в учебных корпусах;
- разработкой алгоритма адаптивного регулирования ФВЭУ, реализуемого ПЛК.

В функции ПЛК должно входить:

- автоматический выбор режима энергораспределения на основе анализа информации о текущем состоянии ФВЭУ и будущем состоянии первичных энергоресурсов;
- автоматическое включение/отключение нагрузки, согласно установленным пользователем уровням приоритетности.

Причиной возникновения сбоев в работе электрических сетей часто становятся перегрузки, т.е. ситуации, когда ток в сети выше номинального или предельно допустимого для участка электрической сети. Они могут происходить на разных уровнях системы электроснабжения. Соответственно возникают разные последствия. Поэтому реализация следующего плана мероприятий с помощью программного продукта SCADA-системы «ЭНТЕК» приведет к повышению эффективного использования энергоресурсов:

1. Автоматическое включение и отключение света в аудиториях по расписанию, а также в коридорах в утренние часы и днем в местах, не имеющих естественного освещения.

2. Планирование расписания занятий с учетом нагруженности городской сети: например лекционные занятия ставить в расписание с утра (потребление электроэнергии – только освещение), практические (семинарские) занятия - начиная с 10-00, а лабораторные - начиная с 12-00, когда в искусственном освещении нет надобности, но выполнение большинства лабораторных работ требует огромного потребления электроэнергии. Поэтому, анализируя нагрузку городской сети, можно сделать вывод, что время с 12-00 до 16-00 является оптимальным для потребления электроэнергии и городская сеть менее нагружена, плюс к этому имеется резервное подключение автономного питания ФВЭУ, работающего в режиме ожидания.

В функции SCADA-системы «ЭНТЕК» входят:

- включения/отключения нагрузки - согласно установленному пользователем времени включения/отключения;
- отключения бытовой и промышленной 1-фазной нагрузки 220 В/50 Гц при недопустимых колебаниях напряжения в сети с последующим автоматическим включением после восстановления параметров сети;
- включения/отключения нагрузки - согласно установленным пользователем уровням освещенности.

На рис. 1 представлена диалоговая среда контроля и управления распределением электроэнергии в учебном корпусе Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауэзова, разработанная нами и успешно функционирующая.

Главной особенностью данной программы является включение и выключение освещения автоматически, без участия человека, а также возможность ручного управления

освещением в любое время суток.

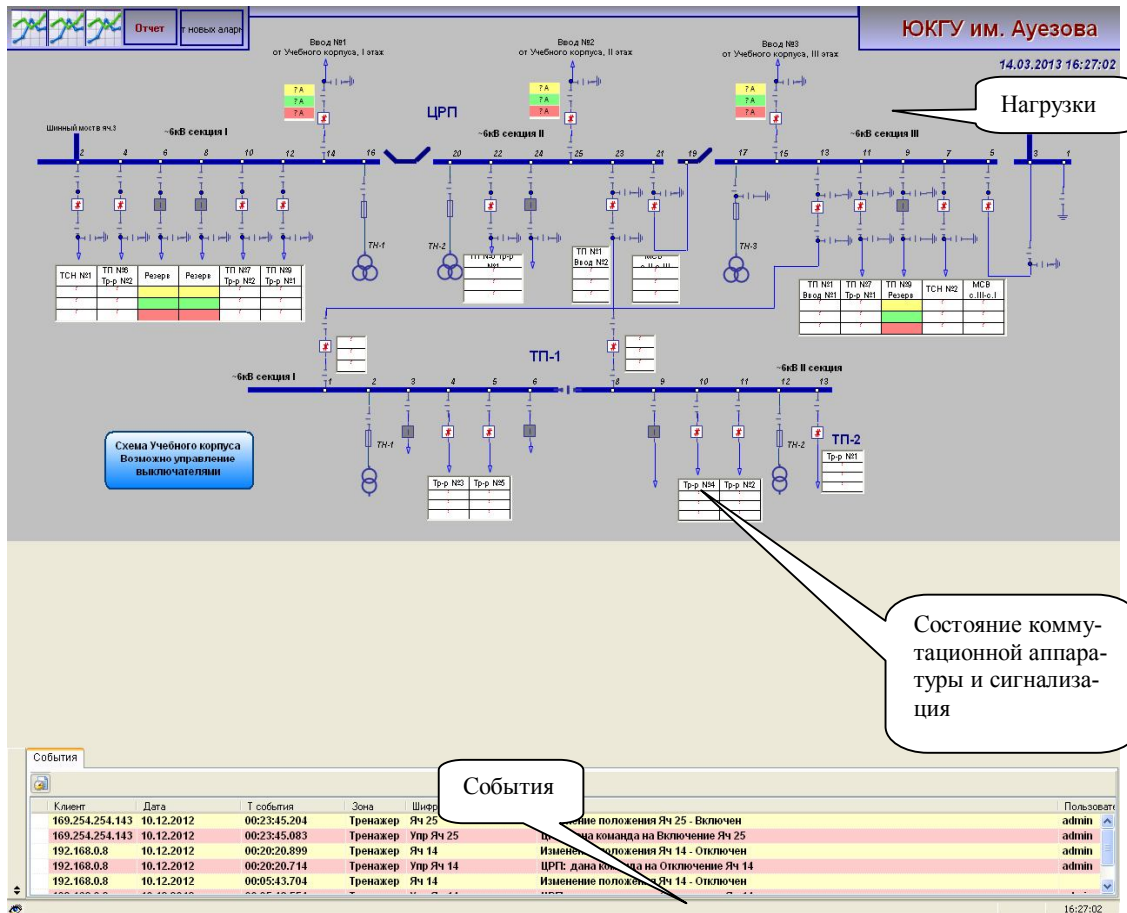


Рисунок 1 - Визуализация контроля и управления распределением электроэнергии в учебном корпусе № 8

При ручном режиме нет ограничения времени (например праздничные дни, пожар). При автоматическом режиме освещения предусмотрен недельный таймер коридорного участка.

SCADA-система «ЭНТЕК» представляет собой мощный инструмент для наблюдения, анализа и управления процессами в системах автоматизации в различных областях промышленности.

Она имеет в своем распоряжении все необходимые инструменты, присущие современным пакетам данного класса и уникальные особенности. SCADA-система «ЭНТЕК» применяется в составе различных программно-технических комплексов в системах телемеханики, автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП), автоматизированных системах оперативного диспетчерского управления (АСОДУ), автоматизированных системах контроля и учета энергетики (АСКУЭ) и других системах промышленной автоматизации. Телемеханизация и учет электроэнергии в учебных корпусах:

- это опрос модулей релейной защиты автоматизации и телемеханики, модулей дискретного ввода-вывода, счетчиков электрической энергии;

- передача данных на верхний уровень по протоколам МЭК 60870-5-101/104, прием команд телеуправления.

В функции SCADA-системы «ЭНТЕК» входит автоматизированная система:

- оперативного контроля за работой ФВЭУ;
- контроля и управления качеством электроснабжения;
- контроля и управления малой генерацией;
- расчета, контроля и анализа балансов и потерь мощностей;
- диспетчерского управления;
- паспортизации и анализа технического состояния оборудования.

Диалоговая среда контроля и управления (модуль визуализации) предоставляет средства для разработки и отображения графических мнемосхем автоматизированных рабочих мест операторов АСУТП, АСОДУ, АСКУЭ и других систем промышленной автоматизации. Данный модуль является основным средством визуального контроля текущих параметров, а также главным инструментом управления процессами.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована актуальность применения автономных комбинированных ФВЭУ в учебных корпусах как дополнительного источника питания и лабораторной установки для научных исследований.

2. Программируемый логический контроллер обеспечивает выбор оптимального режима энергораспределения ФВЭУ в зависимости от приоритета его использования и дает возможность полностью автоматизировать как работу ФВЭУ, так и процесс оптимизации распределения электроэнергии.

3. Оптимальное распределение электроэнергии в учебном корпусе с помощью SCADA-системы «ЭНТЕК» позволяет поставить и решить целый комплекс взаимосвязанных задач, представляющих интерес в связи с теорией и практикой контроля и управления сложными системами, в частности при эксплуатации ФВЭУ:

- обобщение экспертных оценок рациональности режимов энергораспределения;
- автоматизация экспертных оценок и их замена оценками непосредственного пользователя ФВЭУ;
- определение силы влияния факторов на принятие решения о переключении ФВЭУ в различные режимы энергораспределения;
- определение фактической приоритетности нагрузок;
- исследование сходства и различия состояний ФВЭУ и факторов.

Список литературы

1. Симаков В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В.С. Симаков, Е.В. Луценко / Кубанский государственный технологический университет. - Краснодар, 1999. - 318 с.
2. Симаков В.С. Проектирование систем управления автономных гелиоветроэлектростанций на основе имитационного моделирования / В.С. Симаков, И.В. Зайцев // Моделирование электроэнергетических систем: Тез. докладов X науч. конф. - Каунас, 1991. - С. 196-198.

Получено 17.07.2013

УДК 656.056

М.К. Кылышканов, А. Смаилов

ВКРУ, г. Усть-Каменогорск

Ж.Ш. Узденбаев

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

А.М. Калымов

Восточно-Казахстанский казахско-турецкий лицей, г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА ОДНОСЕКЦИОННОГО ТРЕХЦВЕТНОГО ТРАНСПОРТНОГО
СВЕТОФОРА С ТАЙМЕРОМ ОБРАТНОГО ОТСЧЕТА ВРЕМЕНИ**

Наиболее распространены светофоры с сигналами (обычно круглыми) трёх цветов: красного, жёлтого и зелёного [1]. В некоторых странах вместо жёлтого используется оранжевый цвет. Сигналы могут быть расположены как вертикально (при этом красный сигнал всегда располагается сверху, а зелёный - снизу), так и горизонтально (при этом красный сигнал всегда располагается слева, а зелёный - справа). Иногда сигналы светофора дополняют специальным табло обратного отсчёта времени, которое показывает сколько времени ещё будет гореть сигнал. Чаще всего табло обратного отсчёта делают для зелёного сигнала светофора, но в ряде случаев табло отображает и оставшееся время красного сигнала.

В зависимости от назначения светофоры делятся на 2 группы [2]:

- пешеходные;
- транспортные.

По особенностям конструкции современные светофоры делятся: на лампах накаливания, галогенных и светодиодных лампах.

Наиболее распространены конструкции с лампами накаливания и цветными светофильтрами. Их основной недостаток - большая потребляемая мощность, небольшой срок службы и, соответственно, большие затраты на эксплуатацию [3]. Лампы часто перегорают, ложные сигналы светофора при отражении солнечных лучей создают затруднения при различении цветов.

В середине 1990 годов прошлого века были изобретены зелёные светодиоды с достаточной яркостью и чистотой цвета и начались эксперименты со светодиодными светофорами [3]. В последние годы начала появляться информация об односекционных светодиодных светофорах [4], однако по материалам открытой публикации не удастся изучить ее суть, а цены индивидуальных российских разработок достаточно высокие.

Светодиодные светофоры имеют ряд существенных преимуществ. Ресурс светодиодных модулей составляет более чем 100 000 часов и намного превышает ресурс ламп накаливания, что заметно снижает расходы на обслуживание и эксплуатацию. При этом потребление электроэнергии составляет 10-20 % от электропотребления лампового светофора [5]. Кроме того, снижается вероятность появления ложных сигналов светофора при отражении солнечных лучей из-за отсутствия цветных светофильтров, повышается механическая прочность за счет использования современных материалов (линзы рассеивателей и корпуса светофоров изготавливаются из ударопрочного поликарбоната).

У светодиодных светофоров чистые яркие цвета, они менее склонны к паразитной засветке. Высокий КПД экономит электроэнергию. Выход из строя одного светодиода не сказывается на работе светофора; такие светофоры не сгорают, а теряют яркость со време-

нем, давая дорожным службам время среагировать. Светодиодные светофоры лучше видны под острым углом (это и преимущество, и недостаток). В одной секции могут сосуществовать несколько разных сигналов. Светодиодные светофоры более вандалоустойчивы.

Опыт железнодорожников показывает, что жёлтый и белый в «светодиодном» исполнении, а также присущее светодиодам резкое мигание, плохо воспринимаются. На развязках с большим числом светофоров приходится искусственно делать светофоры направленными, снабжая их линзами Френеля. В странах с холодными зимами приходится делать подогрев светофора – обратная сторона высокого КПД.

Целью работы является разработка макета односекционного трехцветного транспортного светофора с индикацией обратного отсчета времени.

Задачами являются:

- 1) уменьшение количества секций с трех до одного, т.е. в одной секции будут размещены матрицы из светодиодных ламп трех цветов (зеленый, желтый, красный);
- 2) уменьшение расхода материалов на изготовление корпуса светофора в три раза (вместо трех секций - одна секция);
- 3) уменьшение весовой нагрузки на опоры и элементы крепления (вес блока уменьшается в три раза);
- 4) уменьшение парусности вследствие уменьшения габаритов (уменьшение объема корпуса в три раза).

На стандартной плате размером 200x200 мм² вмонтировали штекеры для светодиодных ламп (рис. 1).

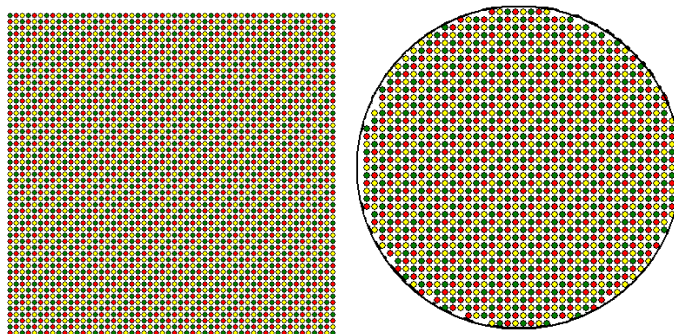


Рисунок 1 – Монтаж штекера для светодиодных ламп на стандартной плате

В штекеры вставляем светодиодные лампы последовательно – красный, желтый, зеленый. Таким образом составляем матрицы «трехцветного глаза» светофора (рис. 2).

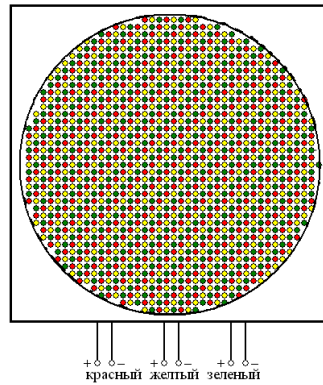


Рисунок 2 – Трехцветная секция светофора с выводами для подключения к источнику питания через микроконтроллер

Соединили лампы одного цвета параллельно между собой. Таким образом на печатной плате будут 6 выводов по 2 на каждую секцию светодиодных ламп.

Функциональная схема подключения светофорной секции и табло обратного отсчета времени приведена на рис. 3.

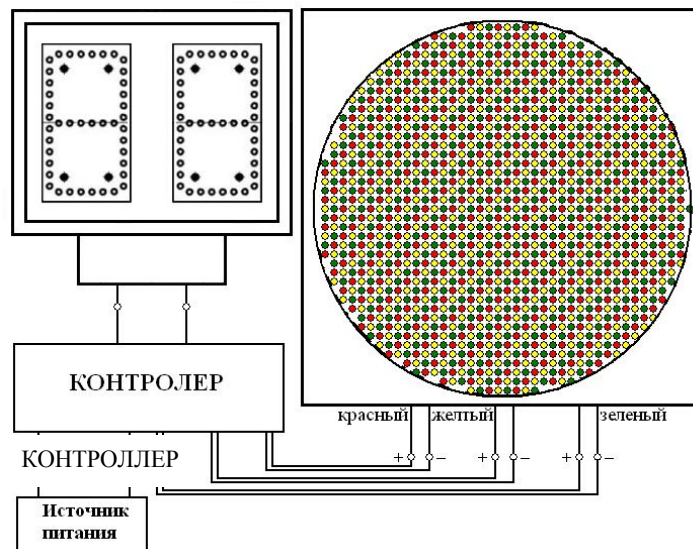


Рисунок 3 – Функциональная схема подключения светофорной секции и табло обратного отсчета времени

Управление светофором – в автоматическом режиме посредством мини-ПЛК (программируемого логического контроллера).

Программирование может производиться как с помощью встроенных в ПЛК клавиш и программ, так и ПЭВМ. Язык программирования - графические функциональные блоки. Программы хранятся в памяти не менее 80-ти часов в случае отключения/пропадания электропитания.

ПЛК обеспечивает управление последовательностью включения/отключения, длительностью свечения секции цветов, работой таймера. Длительность загорания светодиодов каждого цвета устанавливается отдельно. Изменение длительности загорания всех

трех цветов в законченной программе занимает 15-20 минут.

Управление, программирование контроллером может осуществляться удаленно. Имеется также техническая возможность включения ПЛК светофора по специальным протоколам в состав более сложной, вышестоящей системы автоматизации. В этих случаях требуются дополнительные опциональные аппаратно-программные средства.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Разработан макет нового односекционного трехцветного транспортного светофора с индикацией обратного отсчета времени. Матрица из светодиодных ламп трех цветов размещена в одной секции светофора, что позволяет уменьшить массу и габариты светофорного блока в три раза. Налицо экономия конструкционного материала, а также уменьшение нагрузки на опору и элементы крепления и парусности, что увеличивает надежность механических узлов конструкции.

2. Разработана программа на ПЛК попеременной работы светодиодных ламп в соответствии с заданными интервалами.

Список литературы

1. Интернет ресурсы - <http://ru.wikipedia.org/wiki/Светофор>.
2. СТ РК 1412 - 2005 Технические средства организации дорожного движения; Правила применения. - Астана, 2006. - 110 с.
3. Пат. РФ №2351018. Светодиодный светофор / В.В. Капустинский. - 27.03.2009. - Бюл. № 9.
4. Пат. РФ №2468444. Односекционный светодиодный светофор / А.М. Куличенко. - 27.11.2012.
5. Интернет ресурсы - <http://gkst.org/business/6/>.

Получено 17.07.2013

УДК 631.3.004.67(075.8)

Ю.И. Лопухов

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ Cr-Ni-Si – НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА УЛЬТРАЗВУКОМ В НЕФТЕГАЗОВОМ АРМАТУРОСТРОЕНИИ

Возрастающие требования к производительности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральному трубопроводу диаметром 700...1200 мм, требуют создания надёжных трубопроводных систем на внутреннерабочее давление до 12 МПа из высокопрочных низколегированных сталей. Одним из главных составляющих таких систем является создание трубопроводной арматуры с высокими технологическими параметрами с использованием износостойких конструкционных материалов для трущихся уплотнительных поверхностей затвора с повышенными служебными характеристиками, обеспечивающими надёжную эксплуатацию и требуемый ресурс работы.

Усть-Каменогорский арматурный завод имеет достаточный опыт применения высокопроизводительной электродуговой наплавки порошковой лентой ПЛ-АН 150 дисперсионно-твердеющей Cr-Ni-Si стали типа 10X17H87C5Г2Т уплотнительных поверхностей деталей затвора тяжелой сварной нефтяной и энергетической трубопроводной арматуры. Эта сталь

надёжно заменяет широко применяемые за рубежом сплавы на основе кобальта (стеллиты), имеет твердость 32...35 HRC, хорошую стойкость к коррозионному и эрозионному изнашиванию и стойкость к задиранию при трении «металл-металл» до 60...65 МПа [1].

Однако при кольцевой наплавке сёдел и клиньев порошковой лентой возникают значительные растягивающие напряжения, иногда приводящие к образованию поперечных трещин на поверхности наплавленного металла. Это обусловлено тем, что наплавленная Cr-Ni-Si – дисперсионно-твердеющая сталь обладает склонностью к образованию σ -фазы, располагающейся по границам зерен, и вызывает охрупчивание металла (рис. 1). Увеличение содержания кремния в сплаве с одной стороны повышает твердость и стойкость к образованию задигов, с другой – активизирует образование σ -фазы, что приводит к резкому снижению пластических свойств и к образованию трещин в наплавленном металле [1].

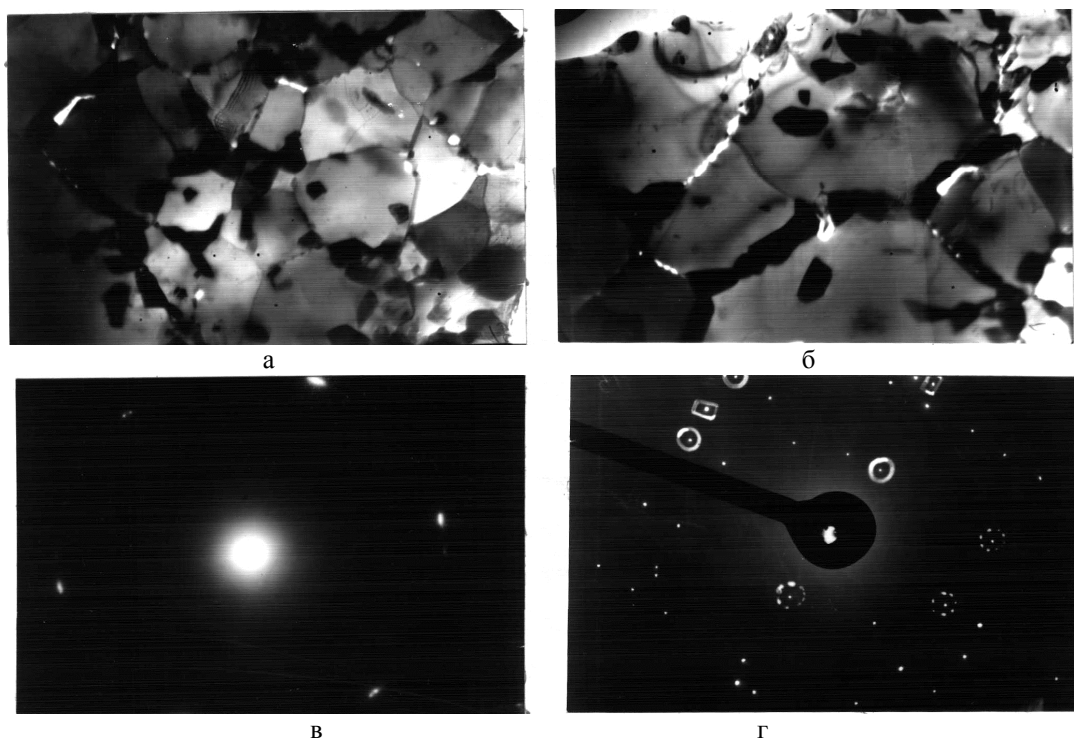


Рисунок 1 - Выделение σ -фазы на межфазных границах в структуре металла 10X17H8C5Г2Т, наплавленного порошковой проволокой ПП-АН133 в среде аргона [1]:

а, б) светлое поле, $\times 6000$; в) микродифракционная картина железа в рефлексе (110);

г) микродифракционная картина σ -фазы.

Термообработка: ϵ 80 % - 1300 °С; вода - 700 °С; 1 час - охлаждение с печью [1, с. 74]

Образование σ -фазы возможно также и в процессе наплавки при определенных временно-температурных условиях [2]. Это дополнительно снижает деформационную способность наплавленного металла с низкими характеристиками пластических свойств (табл. 1).

При удельных давлениях свыше 60...65 МПа износостойкость наплавленного металла 10X17H8C5Г2Т уже недостаточна, так как этот сплав не может обеспечить требуемые

служебные характеристики на более высокие параметры. Воздействие больших удельных давлений в сочетании с агрессивностью среды вызывает пластическую деформацию уплотнительных поверхностей, появление на них задигов, вмятин и других дефектов, что снижает ресурс работы арматуры. В соответствии с [3] применяемые материалы и технология наплавки должны обеспечивать заданный химический состав и стабильный уровень твердости металла по всей наплавленной рабочей поверхности.

Исследования и опыт применения Cr-Ni-Si сталей свидетельствуют, что наплавленные поверхности с более высоким уровнем твердости показывают более высокую противозадирную стойкость (ПЛ-АН152, ПЛ-АН 151). Однако стойкость их против трещинообразования и технологичность при этом резко падают, особенно при твердости свыше 44...46 HRC. Поэтому в наплавленном металле не допускается наличие включений и пор. В определенных пределах в зависимости от размера уплотнительной поверхности допускаются отдельные включения на поверхности размером не более 1,5 мм [3].

Таблица 1

Механические свойства сплава 10X17H8C5Г2Т [1]

Наплавочные материалы		Режим термо- обработки, T ⁰ C, ч	σ_B , МПа	a_H , Дж/см ²
1 Порошковая лента ПЛ-АН150	флюс АН-26С	Исходное состояние	<u>88,2 – 92,5</u> 90,3	<u>5,2 – 9,8</u> 5,5
		Отпуск 650 °С, 3ч	<u>86,0 – 90,6</u> 88,3	<u>5,0 – 5,6</u> 5,3
2 Порошковая проволока ПП-АН133	Ag, флюс АН-26С	Отпуск 850 °С, 3 ч	<u>66,8 – 77,2</u> 72,0	<u>2,8 – 4,6</u> 3,7
		Старение 650 °С, 1000 ч	<u>62,4 – 68,3</u> 65,4	<u>0,25 – 1,1</u> 0,67

Значительное число рекомендуемых технологий по созданию модифицированных износостойких поверхностей с использованием объемных и концентрированных источников нагрева, а также легирующих композиций, являются энергоёмкими, экологически небезопасными, а в ряде случаев, например получения локальных и труднодоступных износостойких трущихся поверхностей сопряжений деталей машин, вовсе технически не выполнимыми.

Наиболее вероятным и экономичным путем решения этой проблемы является использование ультразвуковой упрочняющей финишной обработки (УУФО) хромоникелькремнистой стали. Это позволит одновременно повысить поверхностную твердость наплавленного металла, класс шероховатости поверхностей деталей затвора при финишной обработке, создать антифрикционный поверхностный слой, и таким образом снизить склонность наплавленного металла к задирам, а также в целом повысить надежность при эксплуатации нефтяной трубопроводной арматуры.

Учитывая возрастающие требования к качеству в процессе производства клиновых и шиберных задвижек для магистральных нефтепроводов и необходимости обеспечения долговечности деталей в процессе эксплуатации, актуальным является:

- проведение исследований структурообразования поверхностного и приповерхностного слоёв Cr-Ni-Si – наплавленного металла;
- создание на уплотнительных парах трения затвора поверхностей с минимальной шеро-

ховатостью, при которых обеспечиваются высокие технологические свойства сплава;

- повышение твердости и антифрикционных свойств поверхностного наплавленного слоя.

Для проведения исследований автоматическую наплавку порошковой лентой ПЛ-АН150 выполняли в два слоя на торцевую поверхность кольца толщиной 55 мм, Двн. - 500 мм, Днар. - 650 мм, материал кольца – сталь 09Г2С.

Наплавку порошковой лентой проводили в два слоя на режиме: сварочный ток - 680...720 А, напряжение дуги - 34...36 В, скорость перемещения дуги - 18...25 м/час, скорость подачи ленты - 37 м/час. Процесс вели по ширине кольца в три прохода, смещая ленту на шаг наплавки, равный 10...12 мм.

Термообработку наплавленного кольца проводили для снятия внутренних напряжений по режиму: Т нагрева – 650 °С; выдержка - 2 часа; охлаждение с печью - до 300 °С, далее на воздухе. После термообработки наплавленную поверхность обрабатывали на токарно-карусельном станке 1516 резцом. Толщина наплавленного слоя после механической обработки составляла 5+0,5 мм. Твердость наплавленного покрытия на кольце замеряли переносным электронным твердомером «Темп-4» по шкале Rokvel в тридцати точках, равномерно по всей поверхности кольца, и усредняли значения.

Не снимая деталь со станка с одной установки, после механической обработки поверхность подвергали УУФО. Обработку ультразвуком проводили только на ½ части ширины поверхности кольца, позволяющей сформировать в поверхностных слоях субкристаллическую структуру. Вторую половину ширины поверхности оставляли необработанной.

Ультразвуковое воздействие проводили на установке мощностью 0,63 кВт конструкции Центра лазерных технологий (Санкт-Петербург) путем возбуждения в обрабатываемом инструменте ультразвуковых колебаний. Обрабатываемым инструментом являлся концентратор с бойком из твердого сплава ВК со сферическим закруглением на конце радиусом 2,5 мм. Амплитуда и частота колебаний рабочей поверхности волновода составляла 10 мкм 22 кГц. Деформирующий инструмент прижимали к поверхности обрабатываемого наплавленного кольца со статической нагрузкой 100 Н. Из обработанного ультразвуком кольца вырезали образец-сегмент механическим путем с охлаждением, из которого в дальнейшем подготавливали образцы для металлографических исследований. Измерение микротвердости объёмных образцов проводили на микротвёрдомере ПМТ-3 с использованием пирамидки Виккерса. Нагрузка на индентор составляла 100 г в течение 10 сек. Металлографические исследования проводили на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd».

Результаты твердости и чистоты шероховатости поверхности обработанного после наплавки кольца представлены в табл. 2.

Из анализируемых результатов видно, что однопроходная УУФО после традиционной механической обработки позволяет повысить чистоту шероховатости с Ra 1,4...1,6 мкм до Ra 0,12...0,14 мкм, твердость - на 30 %.

Таблица 2

Показатели чистоты шероховатости поверхности и твердости

Наплавленный металл	После финишной токарной обработки		После дополнительной УУФО	
	Ra	HRC	Ra	HRC
10X17H8C5Г2Т	1,4...1,6	32...34	0,12...0,14	44...46

Исследование микроструктуры поверхностной и подповерхностной зоны показывает, что в наплавленном металле после механической обработки имеются поверхностные и подповерхностные дефекты в виде пор и неметаллических включений (рис. 2,а,б). В особенности опасны дефекты, выходящие на поверхность, являющиеся концентратором разрушения.

После кольцевой наплавки порошковой лентой седел и клиньев затвора арматуры в наплавленном металле в результате его усадки возникают растягивающие напряжения, содействующие возникновению поперечных трещин. Они образуются по границам зерен хрупкой составляющей σ -фазы в столбчатой структуре сплава 10X17H8C5Г2Т (рис. 2,б), обладающего низкой деформационной способностью.

Следует отметить, что трещины в таком разупрочнённом металле появляются и при механической обработке поверхности лезвийным режущим инструментом, которая дополнительно вносит в обрабатываемый наплавленный металл значительную величину растягивающих напряжений. На рис. 2,б вверху видна зарождающаяся микротрещина, располагающаяся по границам зерен, которая образовалась уже после механической обработки из поверхностной поры.

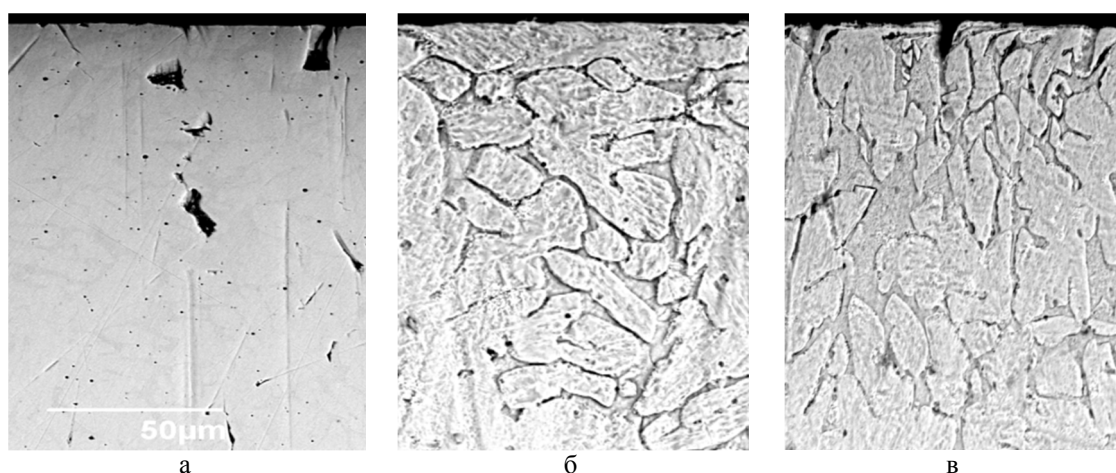


Рисунок 2 - Приповерхностная зона Cr-Ni-Si - наплавленного металла типа 10X17H8C5Г2Т (порошковая лента ПЛ-АН 150, флюс АН-26С): а) исходное состояние до травления; б) исходное состояние после травления; в) после ультразвуковой упрочняющей финишной обработки

Последующая УУФО заключается в наложении непрерывной серии ударов по наплавленной поверхности с частотой 22 000 ударов в секунду технологическим инструментом и вносит существенные изменения в морфологию микроструктуры поверхностной и приповерхностной зоны сплава. В процессе ультразвукового воздействия эти зоны находятся под влиянием активного возбужденного состояния.

Высокочастотные деформирующие усилия вызывают необратимые микропластические сдвиги в зернах металла. Вследствие этого в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью возникают мгновенные температуры, превышающие температуру плавления металла, и протекают сложные физико-химические процессы кристаллизации поверхностных микрообъемов сплава [4]. При этом процесс «поверхностной высокоча-

стотной перековки» наплавленного металла интенсифицирует изменение структурообразования, что позволяет при весьма малых статических усилиях 100...300 Н обеспечить дробление и разворот зёрен на глубине более 100 мкм (рис. 2, в). На развернутых зернах видны полосы скольжения, свидетельствующие о напряженном и упрочненном состоянии обработанной зоны, что подтверждается значением поверхностной микротвердости (рис. 3).

В результате поверхностного воздействия УУФО на дефектный наплавленный металл поры закатываются, микротрещины «завариваются». На верхней части обработанной ультразвуком зоны видно пластическое течение металла поверхностного деформируемого слоя толщиной 8...10 мкм с вытянутыми горизонтальными зернами (рис. 1, в). Это свидетельствует об образовании, по-видимому, волокнистой структуры сформированного поверхностного слоя с малозаметными отдельными цепочками границ зерен. Такая трансформация структуры сплава характеризуется введением сжимающих напряжений, устранением опасных напряжений растяжения. Структура после УУФО приобретает анизотропию механических свойств поверхностной и приповерхностной зоны вдоль и поперек волокон плотного наплавленного металла, исключая образование всех видов дефектов.

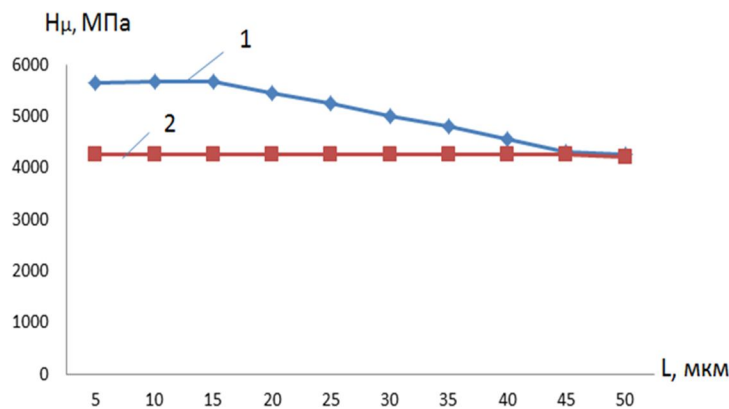


Рисунок 3 - Микротвердость приповерхностной зоны наплавленного металла типа 10X17H8C5Г2Т: 1 – после УУФО; 2 – в исходном состоянии до УУФО

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что ультразвуковая упрочняющая финишная обработка наплавленного металла типа 10X17H8C5Г2Т позволяет создать на его поверхности упрочненный слой толщиной 15...20 мкм с микротвердостью 5000...6000 МПа за счет изменения свойства полученной структуры, принципиально отличающейся от свойств металла, несущего технологическую наследственность после наплавки и механической обработки.

2. Исходная транскристаллитная структура Cr-Ni-Si – стали после наплавки, склонная к образованию поверхностных трещин, в процессе ультразвуковой перековки трансформируется в дезориентированную структуру с высокой конструкционной поверхностной прочностью и трещиностойкостью. На верхней части обработанной ультразвуком зоны образуется пластическое течение металла поверхностного деформируемого слоя толщиной 8...10 мкм с вытянутыми горизонтальными зернами.

3. При воздействии ультразвука происходит пластическая деформация микронеровно-

стей наплавленной поверхности в пределах изменения от Ra 1,4...1,6 мкм при чистовой обработке лезвийным режущим инструментом до Ra 0,12...0,14 после УУФО.

Список литературы

1. Лопухов Ю.И. Повышение эксплуатационных свойств трубопроводной арматуры дуговой наплавкой. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2002. – 136 с.
2. Лопухов Ю.И. Исследование многопроходной наплавки порошковой лентой ПЛ-АН150 крупной трубопроводной арматуры / Ю.И. Лопухов, В.В. Еремеев, Ю.В. Стреляный // Новые процессы наплавки, свойств наплавленного металла и переходной зоны. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1984. – С. 98-104.
3. ОСТ5.9937-84. Наплавка уплотнительных и трущихся поверхностей износостойкими материалами. Введён 01.01.1985. – 28 с.
4. Холопов Ю.В. Машиностроение. Ультразвук: УЗС, БУФО, ГЕО. – СПб.: ООО «Типография «Береста»», 2008. – 328 с.

Получено 17.07.2013

УДК 517.2:669

Г.Ж. Нурулдаева

КазНТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ
С ПОВЫШЕННЫМИ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИМИ И ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ**

Высокая эффективность предприятия в значительной степени зависит от максимального использования производственного потенциала работающих. Основное значение в связи с этим приобретает укрепление здоровья и увеличение периода профессиональной активности работающих, диктуется это не только соображениями гуманистического характера, но и экономической целесообразностью. Здоровье рабочих, будучи богатством республики, является важнейшим условием развития производства. В связи с бурным развитием техники, сопровождающимся постоянным увеличением мощности и производительности машин, скорости их рабочих органов, шумность на рабочих местах промышленных предприятий постоянно возрастает на 1-3 дБ в год и во многих случаях превышает допустимые уровни. Поэтому борьба с шумом на производстве является актуальной научной проблемой, с которой приходится сталкиваться инженерам буквально всех специальностей, особенно в машиностроении, металлургической промышленности, в строительстве, на транспорте, энергетике.

Исследования источников шума в различных отраслях народного хозяйства показывают, что на рабочих местах преобладает средне- и высокочастотный шум, который составляет 85-100 дБ и нередко достигает 110-120 дБ [1]. Действие шума на организм человека связано главным образом с применением высокопроизводительного оборудования, с механизацией и автоматизацией трудовых процессов. Учеными института физиологии и гигиены труда РК было обследовано 150 рабочих, подвергшихся воздействию шума 70-110 дБ, контрольную группу составили 80 человек, работающих в спокойных условиях окружающей среды [2]. Обнаружилось, что риск повышался с увеличением времени воздействия и интенсивности шума. Наибольший риск выявлен у рабочих, подвергавшихся воздействию шума с уровнем интенсивности 90 дБ. У них обнаружены нарушения

функционального состояния сердечно-сосудистой, эндокринной, пищеварительной, периферической и центральной нервной системы. Повышенные уровни шума могут приводить к несчастным случаям вследствие неразличимости слуховых сигналов и неразборчивости речи. Интенсивный шум как общебиологический раздражитель, снижающий иммунобиологическую стойкость, способствует росту заболеваемости рабочих и населения.

Для снижения производственного шума применяются следующие основные методы: устранение причин и ослабление его в источнике возникновения, снижение шума на пути его распространения и использование индивидуальных средств защиты рабочих.

Борьбу с промышленными шумами следует начинать с изыскания возможностей снижения шума в источнике возникновения. Известно, что источником шума ударного происхождения является производственное оборудование. При образовании шума от соударения в оборудовании материал оборудования является первичной преградой, поглощающей волны вибрации за счет демпфирования и изолирующей воздушный шум. Для снижения распространения воздушного шума необходимо знать звукоизолирующие характеристики металлических преград. При генерировании шума от соударения деталей оборудования важное значение имеют демпфирующие свойства материалов.

В данной работе рассмотрены звукоизолирующие и демпфирующие свойства металлических сплавов, применяемых в технике борьбы с производственным шумом. Звуковое поле, создаваемое источником, можно изменить путем дифракции, изоляции и рассеяния. Акустический эффект звукоизолирующих конструкций основан главным образом на отражении звуковых волн, поэтому для звукоизоляции применяются плотные, твердые и тяжелые материалы, обладающие достаточной инерцией к возникновению в них колебаний и хорошо отражающие звук. Основной характеристикой звукоизолирующих материалов и конструкций является коэффициент звукопоглощения, величина которого зависит от частоты и угла падения звука, толщины, плотности и структуры материала. Для анализа процессов изоляции и поглощения звука следует знать механизм прохождения его через преграды, что позволит управлять его акустическими свойствами и конструктивными решениями преград. Это достигается созданием технологии изготовления новых материалов и конструкций с повышенными потерями энергии на внутреннее трение. Демпфирующие материалы также обладают большим внутренним трением, вследствие чего свободные колебания в них быстро затухают, снижаются амплитуды вынужденных резонансных колебаний, резко падают напряжения от ударного нагружения.

Были исследованы акустические свойства образцов из стандартной стали ст.45, серого чугуна СЧ20 и демпфирующего сплава НГ-1. В качестве легирующих элементов для демпфирующего сплава НГ-1 выбраны кремний, марганец и хром [3]. Содержание легирующих элементов в стали определялось на основании изучения диаграмм Fe-C, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Si. Сплав подвергался горячей ковке, нормализации, закалке и двойному отжигу. Образцы для исследования акустических характеристик вырезали из кованных полос. Поверхности пластин шлифовались по 5-му классу чистоты. Отклонения от размеров не превышали 0,1 мм. Выплавка, термообработка и механическая обработка всех образцов проводились по единой технологии на одном и том же оборудовании [4].

Все образцы выполнены в виде пластины размером 80x80x5 мм. Химические составы сплавов показаны в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сплавов из стали и чугуна

№	Марка сплавов, образцов	Химический состав, % вес								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	As
1	Ст.45	0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	0,25	0,25	0,04	0,035	0,25	-
2	СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1	-	-	0,15	0,2	-	-
3	НГ-1	0,14-0,22	2,55-2,67	2,9-3,15	1,3	0,3	0,05	0,04	0,3	0,08

Степень надежности любых экспериментальных данных определяется точностью и классом разрабатываемых и используемых исследователями измерительной техники, методикой измерений. Уровни звукоизлучения пластинчатых образцов при ударном шуме измерены на установке по комплексному исследованию акустических и вибрационных свойств твердых образцов стали и чугуна [5]. Измерения проводили на частотах 125-8000 Гц. Шум фиксировали прибором Октава 101А первого класса точности. Результаты измерения шума приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели звукоизлучения сплавов

Марка сплавов (образцов)	Диаметр шароударника d, мм	Уровни звуковых давлений, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ст.45	18,3	49	49	52	51	60	65	89
СЧ20		45	47	41	48	60	66	82
НГ-1		49	58	52	49	55	59	67

Как видно из таблицы наибольший уровень шума генерирует сплав из стандартной стали. Уровень звукового давления (УЗД) ст. 45 изменяется от 49 до 89 дБ. Шумовой эффект возрастает на высоких частотах, воздействие которых воспринимается человеком хуже. Уровень звукоизлучения демпфирующего сплава ниже на 2-21 дБ. УЗД демпфирующего сплава НГ-1 меняется от 47 до 67 дБ. Уровень шума образца из чугуна СЧ20 ниже шума образцов из стали, но на высоких частотах наблюдается повышение уровня шума до 82 дБ.

Звукоизоляционные характеристики твердых пластинчатых образцов были определены в диапазоне 125-8000 Гц. Принципиальная схема измерительного тракта экспериментальной установки для определения звукоизоляционных свойств пластинчатых образцов показана на рис. 1 [6]. Перед началом работы настройку измерительного тракта осуществляли проверкой звукоизоляции эталонного образца. Акустические измерения находили как среднее значение пяти измерений.

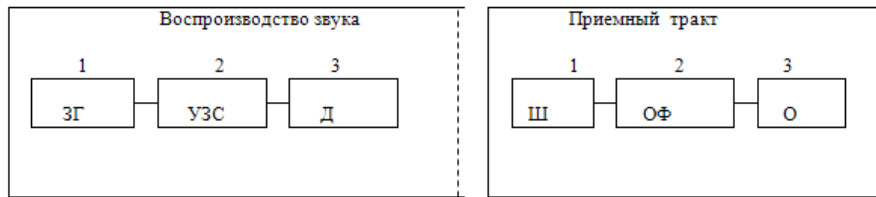


Рисунок 1 - Принципиальная схема измерительного тракта экспериментальной установки для определения звукоизоляционных свойств пластинчатых образцов. Воспроизводство звука: 1 – источник звука; 2 - усилитель звуковых сигналов; 3 - динамик. Приемный тракт: 1 - шумомер; 2 – октавный фильтр; 3 - осциллограф PCS-500

Теоретически звукоизоляция однослойными ограждениями зависит от частоты и подразделяется на несколько областей: 1) область низких частот ($f < 0,5f_{zp}$), где на звукоизоляцию оказывает влияние упругость перегородки и возникает область собственного резонанса материала перегородки; 2) область, определяемая законом масс; 3) область граничной частоты. В области низких частот звукоизоляция определяется резонансными явлениями и зависит от жесткости ограждения. В этой зоне демпфирование ограждения несколько увеличит затухание, но интенсивное демпфирование не приведет к сильному затуханию. Область волнового совпадения представляет резерв повышения звукоизоляции за счет увеличения потерь энергии на внутреннее трение. Граничным частотам соответствуют некоторые значения эффективных коэффициентов потерь $\eta_{эф}$. Демпфирование перегородки позволяет увеличить внутреннее трение за счет соответствующего изменения структуры материала конструкции, что приведет при деформации к необратимому рассеянию энергии. Звукоизоляция исследуемых образцов показана в табл. 3.

Таблица 3

Звукоизоляция стандартных образцов из стали

Марка сплава	Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ст.45	8	19	20	25	24	28	30
СЧ20	16	12	26	30	31	28	27
НГ-1	10	9	20	30	33	26	30

Результаты экспериментов и характер кривых звукоизоляции образца из стандартной стали имеют следующий вид:

- звукоизоляция образца изменяется в пределах 8-30 дБ;
- максимум звукоизоляции характерен для частоты 8000 Гц 30 дБ. Область резонансов для стали ст.45 наблюдается на частотах 125-250 Гц, затем в соответствии с законом масс звукоизоляция образцов увеличивается;

- минимум звукоизоляции наблюдается на частоте 125 Гц.

Значения звукоизоляции образца из чугуна СЧ20:

- максимум звукоизоляции характерен для частоты 2000 Гц (31 дБ);
- на частоте 250 Гц наблюдается снижение звукоизоляции до 12 дБ, далее наблюдается рост звукоизоляции до 31 дБ. Снижение звукоизоляции также наблюдается на частоте

4000 Гц (28 дБ).

Результаты экспериментов и характер кривых звукоизоляции образца НГ-1 имеют следующий вид:

- звукоизоляция образца изменяется в пределах 9-33 дБ;
- максимум звукоизоляции характерен для частоты 2000 Гц (33 дБ).

Область резонансов для образца наблюдается на частотах 125-250 Гц. На низких частотах до 300 Гц значения звукоизоляции низкие, на частотах 1000 Гц и 8000 Гц наблюдаются пики звукоизоляции.

Анализ акустических исследований показывает, что у образцов с низким звукоизлучением наблюдается высокий уровень звукоизоляции. Так по анализу табл. 2 и 3 можно выявить:

- на частоте 125 Гц из трех исследованных образцов низким звукоизлучением обладает образец СЧ20 - 45 дБ, что соответствует большей звукоизоляции 16 дБ;
- на частоте 250 Гц низким звукоизлучением обладает также образец СЧ20 - 47 дБ, но звукоизоляция образца ст.45 выше. Самым большим УЗД обладает сплав НГ-1, звукоизоляция которого ниже исследуемых образцов.

- на средних частотах низкое звукоизлучение образца СЧ20 соответствует высокой звукоизоляции;

- на высоких частотах 1000 Гц, 2000 Гц низкое звукоизлучение соответствует высокой звукоизоляции, а на частотах 4000 Гц, 8000 Гц прямой зависимости нет. Данную нелинейную зависимость можно объяснить тем, что звукоизлучение однослойных ограждений зависит от таких параметров, как частота падающей звуковой волны, масса перегородки, угол падения звуковой волны.

Для определения механизмов затухания акустических колебаний был выполнен микроструктурный анализ сплавов. На рис. 2 представлена микроструктура серого чугуна СЧ20 до и после травления. На рисунке видно, что до травления в микроструктуре серого чугуна присутствует графит, после травления можно увидеть фосфидную эвтектику, в виде светлых очерченных участков. Растворимость фосфора в железе равна 0,25 %, соединение Fe_3P фосфид железа может выделиться при затвердевании чугуна с содержанием фосфора выше 0,07 %, что указывает на сильную тенденцию к ликвидации фосфора в железных сплавах.

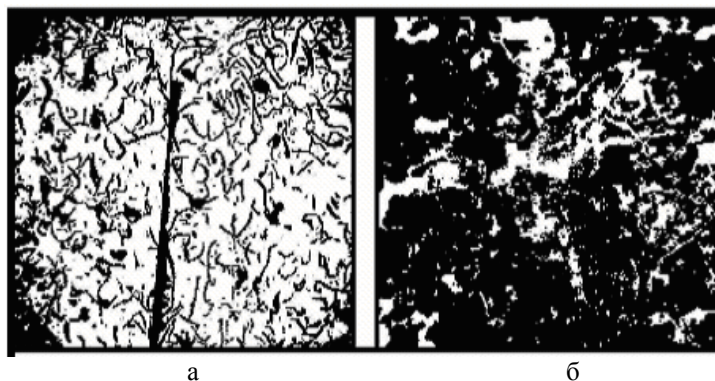


Рисунок 2 - Микроструктура серого чугуна СЧ20: а – до травления при увеличении 70;
б – после травления при увеличении 200

Микроструктурный анализ сплава НГ-1 выявил перлитно-ферритную структуру образца, графитовые включения, которые оказывают влияние на затухание звуковой энергии.

По результатам исследований установлена обратно пропорциональная связь между звукоизлучением при соударении и звукоизоляцией металлического материала, заключающаяся в том, что характер изменения УЗД соударяющихся деталей объясняется резонансными частотами и эффектом волнового совпадения, которые несколько отличаются при измерении звукоизоляции. Изучение механических свойств и структуры акустических характеристик металлических конструкций производственного оборудования необходимо для разработки материалов с пониженным звукоизлучением, что в свою очередь приведет к снижению шума на рабочих местах и позволит улучшить условия труда в помещениях.

Список литературы

1. Сулеев Д.К. Сплавы с повышенными демпфирующими свойствами для борьбы с шумом соударении / Д.К. Сулеев, Е.Б. Утепов, И.П. Заликанова и др. - Алматы: КазНТУ, 2006. - 311 с.
2. Нурулдаева Г.Ж. Инженерлік акустика: Оқу құралы. - Алматы: ҚазҰТУ, 2013. - 142 б.
3. Инновационный патент 22295 KZ. Железоуглеродистый сплав «КазНТУ V» / Г.Ж. Нурулдаева, Д.К. Сулеев и др.; Опубл. 15.02.2010, Вкл. № 2.
4. Фавстов Ю.К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов / Ю.К. Фавстов, Ю.Н. Шульга, А.Г. Рахштадт. - М.: Металлургия, 1980. - 272 с.
5. Нурулдаева Г.Ж. Исследование диссипативных свойств сложнолегированных сталей / Г.Ж. Нурулдаева, Ж.О. Жумадилова // Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан. - ISSN 0002 - 3213. - Алматы, 2010. - № 5, сент. - С. 57-60.
6. Zhumadilova Zh.O. / Development of damping multiple alloyed steels. Monograph. LAP. LAMBERT Academic Publishing. - Saarbrücken, Germany. - 2011. - ISBN 978-3-8443-3162-2. - P. 138.

Получено 10.07.2013

УДК 625.7.084.539.3.6

С.Ю. Пичугин

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МЕТОДИКА И КРИТЕРИИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН**

Для наиболее эффективного использования уплотняющих машин и обеспечения требуемого качества работ необходимо знать особенности взаимодействия рабочих органов уплотняющих машин с уплотняемым материалом [1].

Исследуемый в работе каток оборудован гибким вальцом с изменяемой геометрией (радиусом) обечайки, внутри которого смонтированы гидроцилиндры, деформирующие обечайку, и вибровозбудитель, задающий правила и скорость деформирования обечайки и её адаптацию к уплотняемой среде (рис. 1). Рабочий процесс катка сочетает в себе статическую укатку, вибрацию и трамбование, как следствие циклического изменения диаметра вальца [2].

Гладкий валец катка позволяет получить высокое качество поверхности при низких затратах на производство работ, вибровозбудитель – увеличить глубину проработки материала и силовое воздействие на него, а высокочастотное изменение радиуса гибкого вальца в зоне контакта с уплотняемым материалом придает работе вальца эффект трамбующей машины, которая позволяет получить заданную плотность материала за меньшее количество проходов катка и предотвращает образование волны материала перед вальцом катка при его высокой производительности (рис. 2, 3).

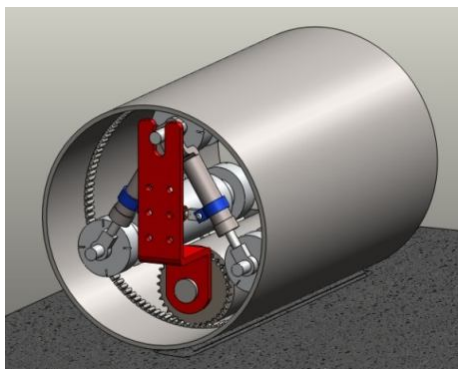


Рисунок 1 – Валец дорожного катка с изменяемой геометрией

На этапе выбора и оценки параметров гибкого вальца перспективным и наиболее дешевым методом исследования является моделирование [3, 4], т.к. эксперименты с натурными образцами рабочего оборудования являются трудоемкими, требуют больших материальных затрат и трудно осуществимы в техническом отношении в части широкого варьирования параметров системы.

Установление закономерностей влияния различных факторов на величину контактной поверхности вальца является основой для моделирования процесса взаимодействия вальца катка с материалом и позволяет решать вопрос о напряженном состоянии материала в процессе уплотнения [3, 4, 5].

Однако моделирование систем без соблюдения условий подобия не может быть принято в качестве исходной научно-методической базы исследования в связи с возможными искажениями изучаемого явления, что, в свою очередь, будет связано с необоснованными практическими рекомендациями.

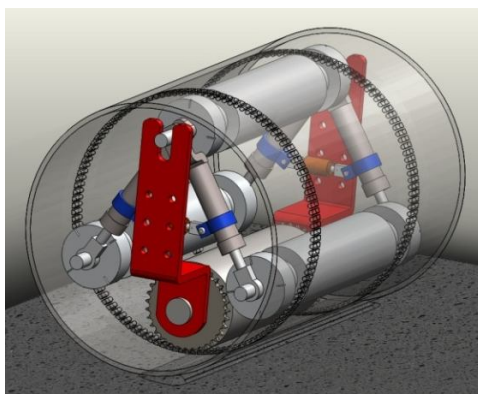


Рисунок 2 - Валец дорожного катка

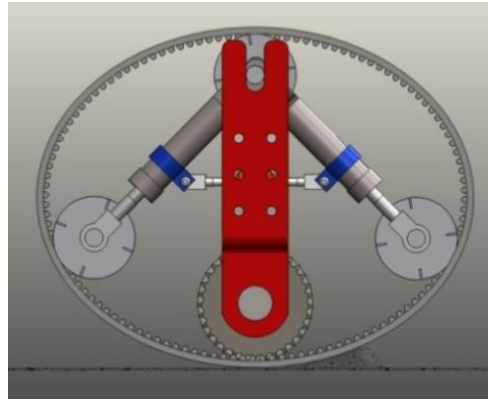


Рисунок 3 - Вид с торца дорожного катка

Одним из эффективных методов физических исследований является метод аналогий [4]. Сущность этого метода заключается в том, что некоторым параметрам реальной физической системы сопоставляются параметры вспомогательной физической системы (модели). Определенные соотношения между параметрами модели считаются идентичными искомым закономерностям реальной физической системы. Основное достоинство метода аналогий – наглядность. Метод аналогий есть иллюстрация в доступном виде реального поведения исследуемого материала при его уплотнении. Использование динамических аналогий позволяет правильно выбрать путь построения закономерностей поведения реальных тел и материалов при их взаимодействии.

Рассмотрим реологическую модель системы «гибкий валец катка – грунт».

Для представления комбинаций фундаментальных свойств различных материалов используют простые механические модели. Упругие свойства материалов хорошо описываются моделью Гука, пластические свойства - моделью Сен-Венана, вязкие - моделью Ньютона [6].

Реальные грунты с некоторым приближением могут быть сложными реологическими моделями, представляющими совокупность упругих, пластичных и релаксационных элементов.

Методику приближенного физического моделирования дорожного катка, в частности с гибким вальцом, адаптирующимся к уплотняемой среде, целесообразно осуществлять путем разделения его рабочего процесса на две основные подсистемы: «опорный трезвенник с вибровозбудителем – уплотняющий рабочий орган» и «уплотняющий рабочий орган – уплотняемый материал», поскольку каждая из этих подсистем характеризуется своим комплексом уравнений, описывающих процесс взаимодействия.

Поэтому предлагаемый процесс моделирования разбит на две независимые части, совместно описывающие рабочий процесс катка с рабочими органами, адаптируемыми к уплотняемой среде: 1) моделирование рабочего процесса статического катка; 2) моделирование рабочего процесса гибкого вальца катка, оборудованного планетарным вибровозбудителем и адаптируемого к свойствам уплотняемой среды.

Процесс взаимодействия вальца катка с уплотняемым материалом представлен на рис. 4. Полная деформация материала h состоит из обратимой (упругой) деформации, т.е. восстанавливающейся после снятия нагрузки h_2 и необратимой (остаточной) h_3 . Контакт вальца с материалом начинается не в точке m , а в точке k за счет возникновения перед вальцом валика уплотняемого материала (волны). Отрыв вальца от поверхности уплотняемого материала происходит в точке s за счет того, что скорость разгрузки материала соизмерима со скоростью движения вальца. Диаметр и линейное давление определяют

уплотняющую способность катка. Диаметр вальца катка определяется в основном типоразмером катка, а линейное давление выбирается в зависимости от свойств уплотняемого материала. Выбор этих двух параметров взаимосвязан.

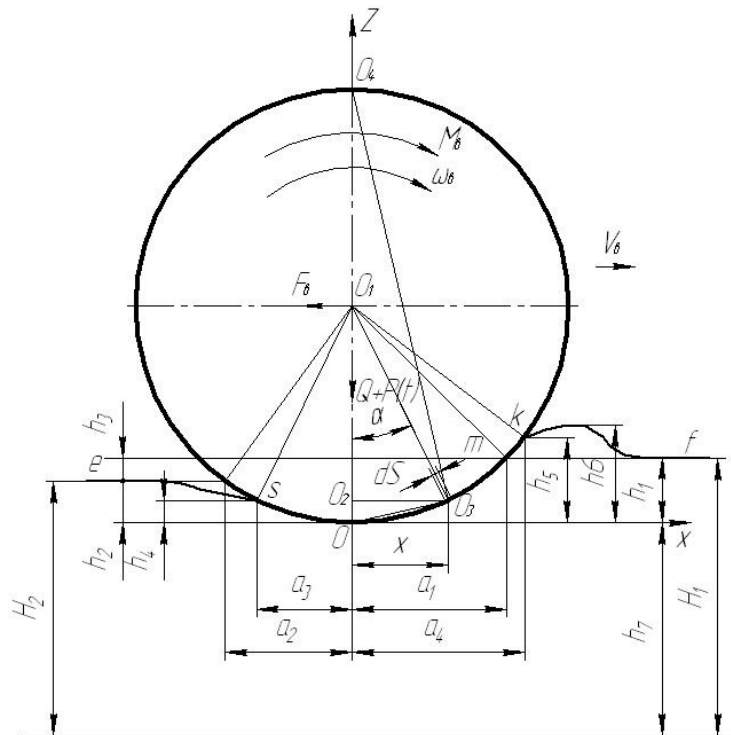


Рисунок 4 – Взаимодействие гладкого вальца с уплотняемым материалом

Определение технических параметров гладковальцовых катков статического действия, как и любого технического объекта, заключается в составлении уравнений изучаемого объекта, с учетом действующих в процессе эксплуатации ограничений, и решения полученных уравнений относительно искомого параметра с последующей экспериментальной проверкой результата.

Для целей определения параметров, характеризующих гладковальцовые катки статического действия, предлагается использовать аппарат теории подобия [3, 4].

Для нахождения критериев подобия и установления формул связи между параметрами, входящими в математическое описание катка, необходимо уравнения, описывающие каток, привести к безразмерному виду, опустить знаки дифференцирования и интегрирования, разделить полученные члены на один из них, а полученные при этом безразмерные комплексы, составленные из переменных величин и параметров, считать критериями подобия.

Так как адаптация рабочих органов дорожного катка к уплотняемой среде подразумевает наличие вибровозбудителя, причем асимметричного, планетарного, то его основной целевой функцией является вынуждающая сила, которая определяется уравнением [6, 7, 8]

$$P_B = m_0 \cdot \omega^2 \cdot R_0 (k_e^{-1} \cdot \sin\varphi + \cos\gamma) \cdot (\sin\varphi - 2tg\gamma \cdot \cos\varphi), \quad (1)$$

где m_0 – масса инерционного бегунка, $m_0 = \frac{G_e}{g}$; G_e – сила веса инерционных планетарно

движущихся масс вибровозбудителя; g – ускорение силы тяжести; ω – угловая скорость вращения водила (круговая частота колебаний); R_0 – радиус беговой дорожки; φ – текущий угол поворота радиуса вращения инерционного бегунка R ; K_e – коэффициент, обратный удельному эксцентриситету, $K_e = \frac{R_0}{e}$; e – эксцентриситет водила относительно центра кривизны беговой дорожки; γ – угол между текущим радиусом вращения R и радиусом кривизны R_0 .

Для асимметричного планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой вынуждающая сила определяется выражением

$$P_B = m_b \cdot \omega^2 \cdot A_Y, \quad (2)$$

где A_Y – удельная составляющая вынуждающей силы [6],

$$A_Y = \frac{\sqrt{9\cos^2\varphi - 8\cos^4\varphi + 16\lambda^2\cos^2\varphi + 16\lambda^2\cos^4\varphi + 7\lambda^2\cos^2\varphi - 8\lambda^4\cos^4\varphi + \lambda^4}}{(-\cos^2\varphi - \lambda^2 + \lambda^2\cos^2\varphi)^2 \cdot \sqrt{\cos^2\varphi + \lambda^2 - \lambda^2\cos^2\varphi}} \cdot a \cdot \sqrt{\cos^2\alpha - \sin\alpha}, \quad (3)$$

где a – большая полуось эллипса; λ – параметр эллипса.

Из данных выражений можно получить следующие индикаторы подобия для круглой беговой дорожки:

$$\frac{P_B}{m \cdot \omega^2 \cdot R_0} = \frac{P_B \cdot g \cdot R_0}{G_B \cdot V^2} = \frac{P_B}{G_B} \cdot \frac{g \cdot R_0}{V^2}, \quad (4)$$

где ω_0 – угловая скорость бегунка относительно центра кривизны беговой дорожки; V – окружная скорость инерционного бегунка; $V = \omega_0 \cdot R_0$.

Индикаторы подобия для эллиптической беговой дорожки:

$$\frac{P_B}{m_b \cdot \omega^2 \cdot a} = \frac{P_B \cdot g}{G_B \cdot \omega^2 \cdot a} = \frac{P_B}{G_B} \cdot \frac{g}{\omega^2 \cdot a}. \quad (5)$$

Индикаторы подобия для обоих случаев являются произведением двух критериев подобия:

$$\Pi_1 = \frac{P_B}{G_B}; \quad \Pi_2 = \frac{V^2}{g \cdot l}, \quad (6)$$

где l – определяющий линейный размер данной подсистемы, тождественный отклонению от округлости беговой дорожки, например $l \sim R_0$.

Критерий подобия Π_1 характеризует неизменность соотношения инерционной вынуждающей силы вибровозбудителя и силы веса его инерционных масс. Второй критерий подобия Π_2 является критерием Фруда и также характеризует неизменность соотношения инерционных и гравитационных сил, т.е. критерии Π_1 и Π_2 тождественны друг другу.

Кроме того, анализ приведенного выше уравнения для вынуждающей силы позволяет получить ряд частных критериев – симплексов:

$$\Pi_3 = K_e; \quad \Pi_4 = \varphi; \quad \Pi_5 = \gamma. \quad (7)$$

Для случая с эллиптической беговой дорожкой: $\Pi_3 = \lambda$; $\Pi_5 = \alpha$.

Критерий подобия Π_3 определяет неизменность соотношения геометрических размеров вибровозбудителя: эксцентриситета водила e и радиуса R_0 кривизны беговой дорожки (большой a и малой b полуосей эллиптической беговой дорожки). Критерии Π_4 и Π_5 характеризуют гомотронность процесса планетарного движения инерционных масс в

вибровозбудителе, так как $\varphi = \omega \cdot t$ и $\gamma = \arcsin(K_e^{-1} \cdot \cos \varphi)$; (для эллиптической дорожки $\alpha = \arctg(\lambda^{-1} \cdot \text{ctg} \varphi)$).

Исходя из определяющего значения критерия Фруда, для перевода параметров физической модели вибровозбудителя в параметры природы можно использовать следующие соотношения, определяемые геометрическим масштабом линейных размеров системы:

$$K_\ell = \frac{l_n}{l_M},$$

где l_n и l_M – соответственно определяющий линейный размер природы и модели:

1. Радиус беговой дорожки: $R_{0n} = R_{0M} \cdot K_e$.
2. Радиус инерционного бегунка: $r_n = r_M \cdot K_e$.
3. Эксцентриситет водила: $e_n = e_M \cdot K_e$.
4. Угловая скорость водила: $\omega_n = \omega_M \cdot K_\ell^{-0,5}$.
5. Масса инерционного бегунка и маятникового устройства противоскольжения: $m_n = m_M \cdot K_\ell^3$.
6. Вынуждающая сила вибровозбудителя: $P_{вн} = P_{вм} \cdot K_\ell^3$.
7. Момент сопротивления вращению водила: $M_n = M_M \cdot K_\ell^4$.
8. Мощность привода вибровозбудителя: $N_n = N_M \cdot K_\ell^{3,5}$.
9. Ускорение силы тяжести: $g_n = g_M$.
10. Большая полуось эллиптической беговой дорожки: $a_{0n} = a_{0M} \cdot K_\ell$.
11. Эксцентриситет беговой дорожки: $e_n = e_M \cdot K_\ell$.

Необходимо отметить, что в пределах, определяемых подобием вынуждающей силы P_e для природы и модели, возможна инвариантность этой силы относительно составляющих ее параметров: инерционной массы m , угловой скорости водила ω и радиуса R_0 беговой дорожки (радиуса вращения инерционной массы, а для эллиптического вибровозбудителя – большой полуоси a беговой дорожки (наибольшего габаритного размера)). Подобие целевой функции процесса – вынуждающей силы, может обеспечиваться за счет аффинного подобия параметров m , ω и R_0 (для эллиптической беговой дорожки a). Тогда формула перехода от параметров модели к параметрам природы для вынуждающей силы будет

$$P_{вн} = P_{вм} \cdot k_m \cdot k_\omega^2 \cdot k_l, \quad (8)$$

где K_ω – масштаб изменения угловой скорости водила, $K_\omega = \frac{\omega_n}{\omega_M}$; K_m – масштаб измене-

ния инерционной массы вибровозбудителя, $K_m = \frac{m_n}{m_M}$.

При этом адекватность модели и природы обеспечивается подобием эксцентриситета водила $e_n = e_M \cdot k_\ell$ и конструктивной схемы вибровозбудителя.

Общая система формул перехода от параметров модели к параметрам природы вибрационного катка при неизменных параметрах уплотняемого материала:

1. Модуль упругости материала и статическое давление под вальцом катка $E_n = E_M$.
2. Коэффициент уплотнения материала $K_{yn} = K_{yM}$.
3. Глубина деформации материала при гомохронном воздействии катка $h_n = h_M \cdot K_{ee}$.

4. Коэффициент сопротивления перекачиванию вальца $f_n = f_m$.
5. Ширина вальца $B_{kn} = B_{km} \cdot K_{ев}$.
6. Радиус вальца $R_{kn} = R_{km} \cdot K_{ев}$.
7. Вес катка $G_n = G_m \cdot K_{ев}^2$.
8. Вынуждающая сила вибровозбудителя $P_{вн} = P_{вм} \cdot K_{ев}^2$.
9. Коэффициент динамической вязкости материала $\eta_n = \eta_m$.
10. Сопротивление перемещению катка $W_n = W_m \cdot K_{ев}^2$.
11. Скорость катка $V_{kn} = V_{km} \cdot K_{ев}$.
12. Мощность перемещения катка $N_{kn} = N_{km} \cdot K_{ев}^3$.
13. Жесткость конструкции рабочего органа $C_n = C_m \cdot K_{ев}$.

Для конкретизации задачи и параметров процесса уплотнения дорожно-строительных материалов необходимо дополнительно ввести условия однозначности, которые определяются следующими факторами: геометрическими параметрами системы, начальными условиями, условиями на границах системы и физическими параметрами среды.

В данной работе на базе общих положений теории подобия и моделирования, а также анализа механизма процесса уплотнения грунта гибким вальцом катка, адаптируемым к уплотняемой среде, решена задача приближенного физического моделирования процесса взаимодействия рабочего органа уплотняющей машины с грунтом.

Методы физического моделирования позволяют быстро и экономично установить ряд параметров, необходимых для формирования теоретических расчётных зависимостей, проверить аналитические решения, изучить механизм процесса уплотнения и определить параметры новых машин и их рабочих органов для уплотнения грунтов.

Практическая ценность работы заключается в том, что применение разработанных положений и условий приближенного моделирования позволяет ускорить и углубить исследования рабочих процессов существующих и вновь создаваемых рабочих органов уплотняющих машин, а также сократить материальные затраты на их проведение.

Результаты теоретического анализа и выполненных экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. В условиях сохранения неизменных величин, характеризующих свойства уплотняемой смеси и контактного напряжения σ_k , а также принимая, что сила тяжести (масса) катка G , пропорциональна площади контакта или квадрату обобщенного линейного размера, можно считать, что величина удельного линейного давления пропорциональна силе тяжести катка в степени $\frac{1}{2}$.

2. Мощность двигателя пропорциональна силе тяжести машины в степени $\frac{5}{4}$.

3. Различный вид критериев подобия для вибровозбудителя и вибрационного катка определяет различные масштабы моделирования этих подсистем, причём линейный масштаб вибровозбудителя увеличивается менее интенсивно с ростом линейного масштаба катка по закону $K_e = K_{ев}^{2/3}$.

4. При физическом моделировании процесса уплотнения материала вибрационным катком определяющим является критерий подобия, характеризуемый отношением сум-

марного давления вальца катка на материал. Оно зависит от совместного действия статического веса катка и динамической вынуждающей силы вибровозбудителя на площадь контакта с уплотняемым материалом к предельному давлению сжатия, обеспечивающему эффективное уплотнение материала до предельной деформации сжатия, предваряющей наступление вязкопластического выдавливания материала из-под вальца.

Список литературы

1. Борисевич В.Б. Научные основы моделирования и управления технологическими машинами на грунтах со слабой несущей способностью: Дисс. ... д-ра техн. н. – М.: МАДИ, 2006. – 439 с.
2. Дудкин М.В. Обоснование параметров и разработка вибрационных катков с асимметричным планетарным вибровозбудителем: Дис. ... канд. техн. н. – Астана: ЕНУ им. Л. Гумилева, 2002. – 158 с.
3. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1994. – 432 с.
4. Баловнев, В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов строительно-дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.
5. Декина Г.И. Определение параметров режима уплотнения трамбуемых машин методом моделирования: Дисс. ... канд. техн. н. – Хабаровск: Хаб. политехн. ин-т, 1982. – 172 с.
6. Ермилов А.Б. Физическое моделирование рабочего процесса вибрационного катка / А.Б. Ермилов, М.В. Дудкин, М.Г. Кипиани. – М.: МАДИ, 1991. – 11 с. – Деп. В ЦНИИТЭстроймаш. – № 28 – сд 91.
7. Дудкин М.В. Математическое моделирование кинематических параметров планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой в среде MATLAB (MathCAD). Ч. 1. / М.В. Дудкин, П.С. Кузнецов, М.А. Сакимов // Вестник ВКГТУ. – 2004. – № 2. – с. 40-45.
8. Инновационный пат. № 23701, РК, МПК E01C 19/26 (2009.01). Валец дорожного катка / С.Ю. Пичугин, М.В. Дудкин, С.Н. Фадеев, Г.А. Гурьянов / Заявитель и патентообладатель Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева. – № 2010/0567.1; Заявлено 05.05.2011.

Получено 17.07.2013

УДК 621.2.082.18

М.К. Скаков

Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан, г. Курчатов

Л.Б. Баятанова, Б.К. Рахадилев

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТАЛИ 18ХНЗМА-Ш ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО - ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

Повышение эффективности производства и качества выпускаемой продукции в долотной промышленности неразрывно связано с более полным использованием возможностей, которые заложены в конструкционных материалах, из которых изготавливаются бу-

ровые долота, и технологиях обработки этих материалов.

Проблема повышения эксплуатационной надежности буровых долот является комплексной и предполагает привлечение современных методов химико-термической обработки. Важнейшей частью этой проблемы является улучшение свойств материала поверхностного слоя деталей, в частности за счет цементации в электролитной плазме [1].

Одним из перспективных с точки зрения производительности, качества и повторяемости результатов, является цементация в плазме электролита [2].

Целью работы является изучение структуры и свойств поверхности и диффузионного слоя стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной цементации.

Методика проведения исследований. Объектами исследования являлись образцы, приготовленные из долотной стали 18ХНЗМА-Ш размером 30×30×5 мм, прошедшие электролитно-плазменную обработку (ЭПО) цементацией в течение 3,5-7 минут по режимам (см. табл.) на установке для ЭПО [3].

Микроструктуру образцов изучали, используя оптический микроскоп АХИОРНОТ 2 (в Университете им. Отто-фон-Гуерике, г. Магдебург, Германия). При проведении металлографического микроанализа шлифы после полировки (паста двуокиси хрома) для определения микроструктуры и выявления наличия включений травили в реактиве, содержащем 4 % азотной кислоты в спирте.

Элементный состав различных участков поверхности и поперечного шлифа исследовались на растровых электронных микроскопах FEI XL30 FEG (в Университете им. Отто-фон-Гуерике, г. Магдебург, Германия) и JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного микроанализа INCAEnergy. Спектры снимались с участков поверхности, содержащих и не содержащих образования, а также с поперечного шлифа.

Испытания образцов проводили на установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении о нежестко закрепленные частицы абразива. Износостойкость испытуемого материала оценивали путем сравнения его износа с износом эталонного образца (сталь 45) согласно ГОСТ 23.208-79. Относительную износостойкость стали определяли по формуле:

$$K_u = \frac{g_{\text{э}} \rho_u N_u}{g_u \rho_{\text{э}} N_{\text{э}}}$$

где $g_{\text{э}}$, g_u - значения потерь массы при испытаниях эталонного образца и образцов исследуемого материала, соответственно, z ; $\rho_{\text{э}}$, ρ_u - плотность эталонного и исследуемого материала, г/см³; $N_{\text{э}}$, N_u - количество оборотов ролика при испытаниях эталонного и исследуемого материалов.

Микротвердость образцов до и после обработки измеряли методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3М по методу Виккерса при нагрузке 100 г и выдержке под нагрузкой 10 с в соответствии с ГОСТ 9450-76.

Технические параметры электролитно-плазменной цементации

Вид обработки	Состав электролита (% , массовый)	Температура выдержки, °С	Время обработки, мин	Напряжение, В	Сила тока, А
Цементация	Карбонат натрия (10 %)+ глицерин (20 %)+ вода	860	3,5	150	40
			5		
			7		

Результаты исследований. На рис. 1 показаны микроструктуры стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной цементации. После травления была выявлена мартенситная структура. Обнаружена различная травимость мартенсита. Он имеет два оттенка:

темный мартенсит в виде пересекающихся линзовидных выделений; более светлый мартенсит расположен зигзагообразно. При охлаждении сначала образуется мартенсит из наименее легированного аустенита.

На фотографии этот мартенсит соответствует наиболее темным участкам. Затем при более низкой температуре возникает более легированный мартенсит. Различная травимость мартенсита, т.е. его различная стойкость в азотной кислоте, подтверждает существующее положение о ступенчатом характере мартенситного превращения при охлаждении неравновесного аустенита.

Таким образом, предполагается, что наличие в структуре мартенсита различной травимости является подтверждением устойчивой неоднородности аустенита по химическому составу при температуре цементации, что может быть вызвано усложнением диффузионных потоков углерода и легирующих элементов.

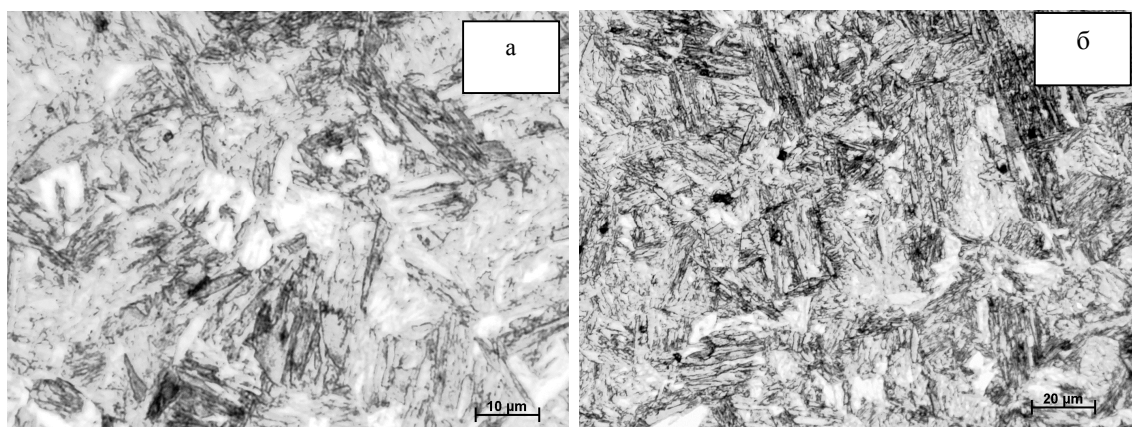


Рисунок 1 – Микроструктура стали 18ХНЗМА-Ш после цементации:
а) 860 °С, 5 мин; б) 860 °С, 7 мин

Обнаружено, что общая толщина цементованного слоя растет с течением времени обработки. На рис. 2 показано изображение поперечного среза образца стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной цементации. Минимальные зерна появились на границе с науглероженной частью слоя. Микроструктура обработанной поверхности (зона I) характеризуется наличием темного слоя толщиной примерно 50-70 мкм, где произошло структурно-фазовое превращение под воздействием высокой температуры плазмы. Под темным слоем (зона II) наблюдается мелкозернистая пластинчатая структура мартенситного класса, которая переходит в исходную перлитно-ферритную структуру (зона III). Видно, что модифицированный слой распределен равномерно по всей поверхности образца и его толщина составляет около 70 мкм.

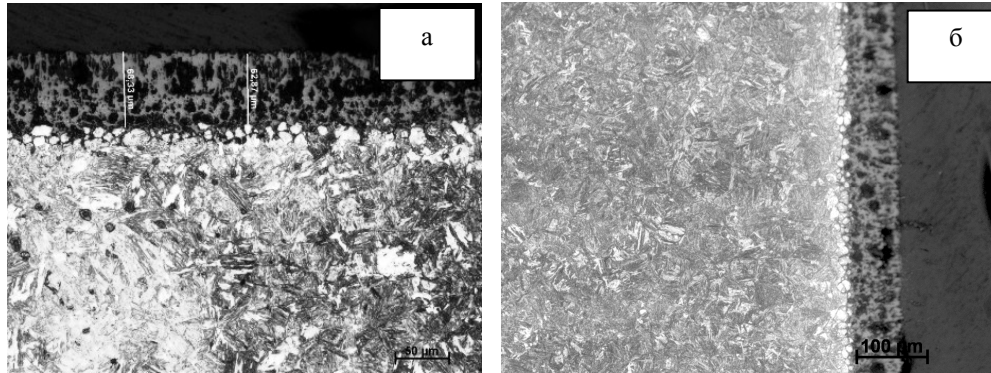


Рисунок 2 - Микроструктура поперечного разреза стали 18ХНЗМА-Ш при разных увеличениях после электролитно-плазменной цементации, 860 °С, 7 мин

На рис. 3 показана РЭМ-изображение поверхности образца стали 18ХНЗМА-Ш после цементации в электролите 10 % Na_2CO_3 + 20 % $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ при 860 °С, в течение 7 мин. Здесь на поверхностном слое стали 18ХНЗМА-Ш выявлена цементитная сетка.

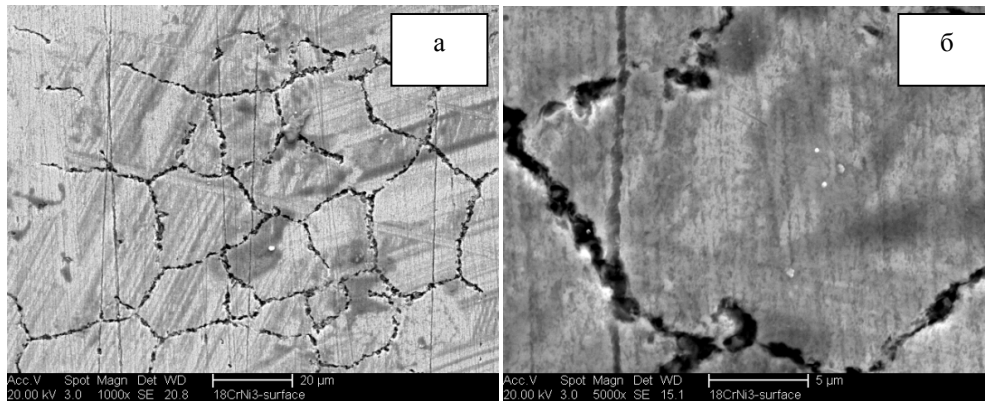
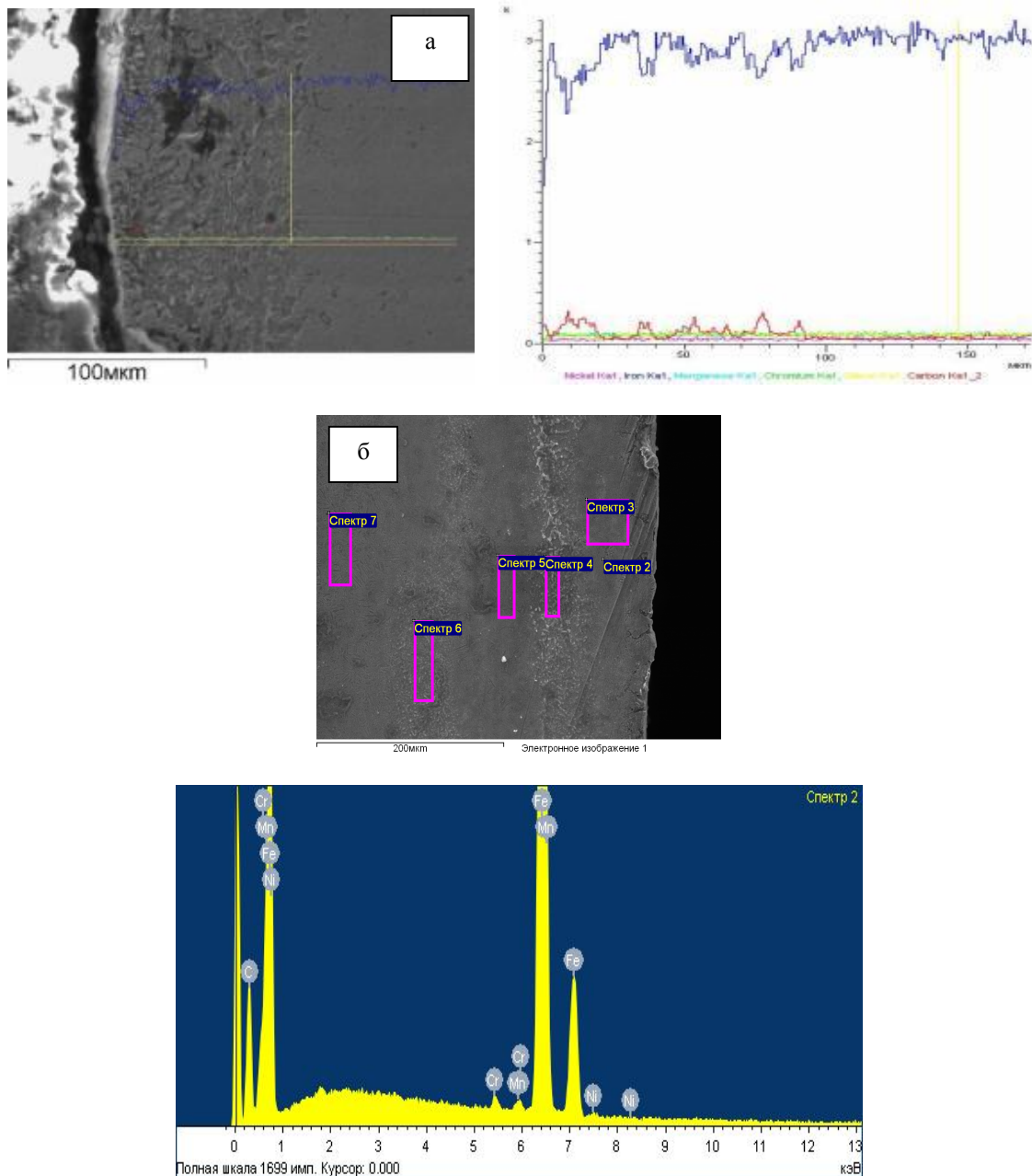


Рисунок 3 - Морфология поверхности образца стали 18ХНЗМА-Ш после цементации при разных увеличениях, 860 °С, 7 мин

Таким образом, установлено, что цементация электролитно-плазменным воздействием влияет на структуру и морфологию поверхностного слоя стали 18ХНЗМА-Ш.

На рис. 4 приведены микроструктура и элементный состав диффузионного слоя стали 18ХНЗМА-Ш после цементации в электролитной плазме. После цементации в электролитной плазме при температуре 860 °С в течение 3 мин диффузионный слой стали 18ХНЗМА-Ш состоит только из одного слоя (рис. 4,а). Это связано с малым временем выдержки, поскольку мартенситное ($A \rightarrow M$) превращение не протекает до конца, и в стали остаются продукты распада. А увеличение времени выдержки до 5 мин приводит к увеличению толщины диффузионного слоя и к появлению второго слоя, состоящего из феррита с карбидными включениями (рис. 4,б) [4].



Спектр	С	О	Cr	Mn	Fe	Ni	Итого
Спектр 2	3,80	-	0,51	0,65	94,52	0,52	100,00
Спектр 3	3,46	0,71	0,56	0,63	94,01	0,63	100,00
Спектр 4	1,99	1,10	0,57	0,59	96,1	-	100,00
Спектр 5	1,14	0,73	0,43	0,70	97,01	-	100,00
Спектр 6	0,29	0,49	0,63	0,73	97,86	-	100,00
Спектр 7	0,19	0,53	0,46	0,56	97,8	0,46	100,00

Рисунок 4 – Микроструктура и элементный состав диффузионного слоя стали 18ХНЗМА-Ш

после цементации в электролитной плазме при температуре 860 °С: а) 3 мин, б) 5 мин

Рентгеноструктурный анализ образцов стали 18ХНЗМА-Ш в исходном состоянии (рис. 5,а) и после цементации показывает, что ЭПО стали 18ХНЗМА-Ш приводит к образованию на ее поверхности цементита Fe_3C и оксида Fe_2O (рис. 5). Наблюдается уменьшение интенсивности оксидной фазы, это обусловлено уменьшением оксидных слоев на поверхности стали. Таким образом установлено, что добавление в электролит из водного раствора карбоната натрия глицерина приведет к уменьшению оксидных фаз. При обработке во всех изученных электролитах на поверхности стали образуется цементит, так как основная фаза выделения в углеродистых малолегированных сталях – цементит Fe_3C . Как известно, в зависимости от легирования цементит может содержать легирующие элементы стали, например Cr, Mn, V, W, Mo и др.

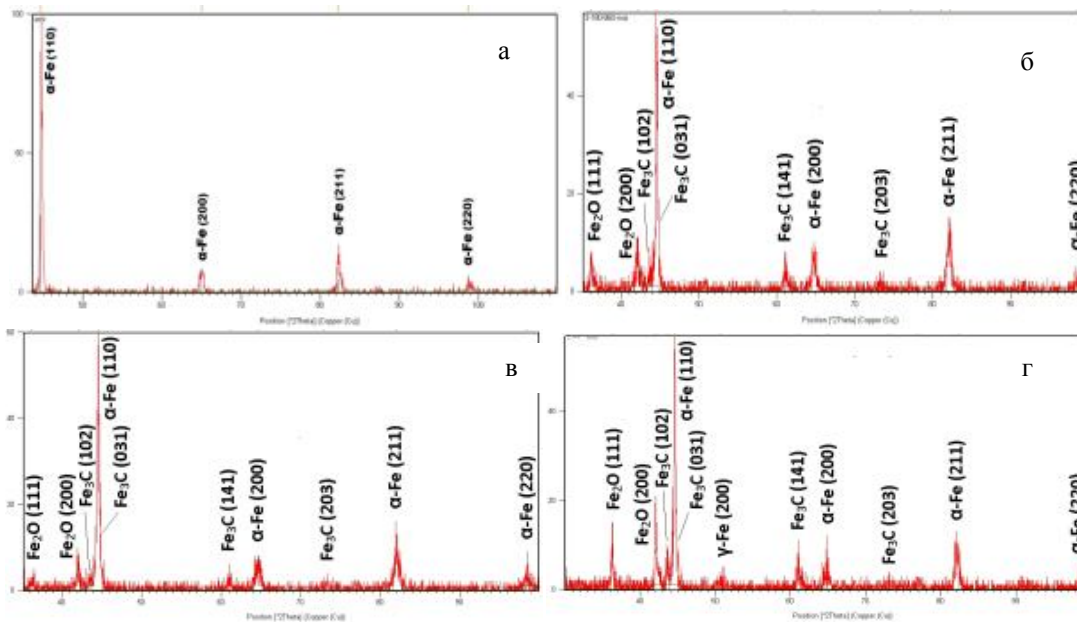


Рисунок 5 – Рентгеновские дифрактограммы стали 18ХНЗМА-Ш после ЭПО:
а) в исходном состоянии, б) 3 мин, в) 5 мин, г) 7 мин

При этом необходимо отметить, что увеличение продолжительности обработки до 7 мин приводит к образованию на поверхности остаточного аустенита γ -Fe (рис. 5,г) [5].

На рис. 6 показана зависимость микротвёрдости цементованного слоя стали 18ХНЗМА-Ш от времени выдержки. Видно, что цементация приводит к возрастанию микротвердости до 5650 МПа (рис. 6). Видно также, что увеличение времени выдержки до 7 мин приводит к уменьшению микротвердости стали. Снижение твердости при увеличении времени выдержки до 7 мин связано с образованием в структуре стали остаточного аустенита.

Результаты измерения микротвердости поверхности обработанных образцов свидетельствуют о ее повышении относительно основы и равномерном распределении по обработанной поверхности. Увеличение микротвердости в 2 раза относительно исходного значения свидетельствует о повышении прочности после ЭПО [6].

Снижение микротвердости на самой поверхности образца объясняется наличием остаточного аустенита и оксидного слоя.

На рис. 7 показаны результаты испытания стали 18ХНЗМА-Ш на износостойкость.

Видно, что износостойкость после цементации возрастает, при выдержке 5 мин она доходит до максимума. Дальнейшее увеличение времени выдержки до 7 мин приводит к уменьшению износостойкости, являющейся структурно-чувствительной характеристикой и зависящей от размера, формы, распределения и объемной доли твердой фазы, а также от механических свойств твердой и матричных фаз. На процессы изнашивания сталей влияют структурные изменения и связанные с ними изменения механических свойств. Об этом свидетельствует снижение износостойкости образца стали твердостью 5650 МПа, что можно объяснить охрупчиванием поверхностных слоев [7].

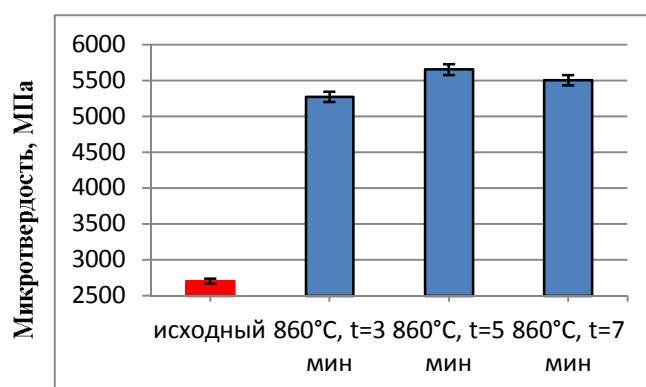


Рисунок 6 - Зависимость микротвердости цементованного слоя стали 18ХНЗМА-Ш от времени выдержки

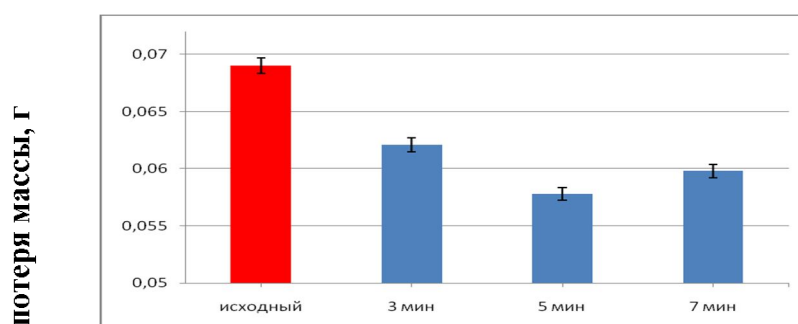


Рисунок 7 - Износостойкость стали после цементации при температуре 860 °С

Улучшение антифрикционных свойств после цементации можно объяснить формированием более дисперсной структуры перлита, а также пластичностью сохранившейся ферритной основы [8].

Таким образом, мы определили основные факторы, определяющие качество упрочнения стали при ЭПО, – температура нагрева, время выдержки.

На основе анализа полученных результатов исследований были сделаны следующие выводы:

- Определено, что оптимальным режимом электролитно-плазменной цементации является цементация в 10 % водном растворе кальцинированной соды Na_2CO_3 с глицерином, выдержкой 5 мин при температуре 860 °С.

- Обнаружено, что в результате поверхностного насыщения плазмы электролита углеродом стали 18ХНЗМА-Ш образуется градиентный слой, состоящий из зон – структурных

турно-фазовых превращений, термического влияния, расположенных последовательно по глубине слоя и существенно различающихся между собой.

- Изучены зависимости поверхностной твердости и глубины закаленного слоя от режимов электролитно-плазменной цементации. Установлено, что после обработки микротвердость стали 18ХНЗМА-Ш повышается более чем в 2 раза относительно исходного состояния.

- Установлено, что в результате цементации в электролитной плазме абразивная износостойкость поверхностных слоев стали 18ХНЗМА-Ш увеличивается.

Настоящая работа проведена в соответствии с договором № 475/189-209-11 с АО «Национальное агентство по технологическому развитию» по теме «Инновационная технология электролитно-плазменной обработки упрочнением материала подшипникового узла бурового инструмента» от 23.12.2011 года.

Список литературы

1. Сараев Ю.Н. Комплексный подход к повышению эксплуатационной надежности деталей и изделий / Ю.Н. Сараев, А.А. Штерцер, М.К. Скаков и др. // Технология машиностроения. - 2011. - № 8. - с. 39-42.
2. Суминов И.В. Мир материалов и технологий: В 2 т. / И.В. Суминов, П.Н. Белкин и др. - М.: Изд-во Техносфера, 2011. - Т. 1. - 464 с.
3. Пат. на полезную модель Республики Казахстан: МПК8 С25F 7/00 Установка электролитно-плазменной обработки / М.К. Скаков, А.А. Веригин, А.В. Фурсов и др. / - № 878; Заявлено 31.01.2012; Опубл. 15.11.12, Бюл. № 11.
4. Skakov M.K., Bayatanova L.B., Sheffler M. Changes of Structural-Phase Condition in 18CrNi3MoA-Sh Steel After Elektrolyte-Plasma Processing // Advanced Materials Research/ Vol. 601 (2013). - p. 74-78.
5. Skakov M.K., Bayatanova L.B., Sheffler M. Surface Hardening of 18CrNi3MoA-SH Steel with Heating in Electrolytic Plasma // Key Engineering Materials) Vols. 531-532 (2013). - P. 242-245.
6. Skakov M.K., Bayatanova L.B., Scheffler M. Research of Surface Treatment on the Microstructure, Microhardness and Wear Resistance of 18CrNi3MoA-Sh Steel// Tribologia. - 2012. - № 5. - P. 147-153.
7. Дураджи В.Н. Цементация и нитроцементация стали при нагреве в электролитной плазме / В.Н. Дураджи, И.В. Брянцев, Е.А. Пасинковский // Электронная обработка материалов. - 1978. - № 2. - С. 53-56
8. Виноградов В.Н. Механическое изнашивание сталей и сплавов: Учеб. для вузов / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин. - М.: Недра, 1996. - 364 с.

Получено 12.08.2013

УДК 625.768.5

С.Н. Фадеев

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАШИНЫ ДЛЯ СКАЛЫВАНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ДОРОГ И ТРОТУАРОВ

В таких районах, как Северная Америка, Канада, Казахстан, Россия, Аляска, Северная Скандинавия, основной проблемой в зимнее время является борьба с обледенением на автодорогах и тротуарах. В настоящее время существует два метода борьбы с этой проблемой: распределение химических реагентов и механическое скалывание льда и уплотненного снега. При химическом способе воздействия на лед возникают значительные про-

блемы: реагенты оказывают негативное воздействие на асфальтобетонное покрытие дороги (тротуара) и транспортные средства, негативное экологическое воздействие и т.д. При механическом способе наиболее часто используются скальватели различных видов, которые очень часто в процессе работы повреждают покрытие дорог и тротуаров [1]. Поэтому возникает необходимость разработки рабочих органов для разрушения льда на дорогах и тротуарах без сопутствующих негативных факторов. Таким образом, актуальность разрабатываемой в данной работе темы не вызывает сомнений. При этом необходимо учесть, что крупногабаритные машины с отвалом легко могут повредить дорожное покрытие и не могут обеспечить уборку от снежно-ледяного покрова на тротуарах и в других труднодоступных местах. Ручные ударные инструменты низкоэффективны, так как требуют большого количества ручного труда, то есть имеют минимальную производительность.

Плотность снежно-ледяных отложений связана с климатическими условиями окружающей среды. Она увеличивается по мере увеличения влажности. Кроме того, плотность снежно-ледяных отложений зависит от температуры воздуха: чем выше температура, тем плотнее лед (см. табл.). При увеличении скорости ветра плотность льда также повышается. Уплотненный снег временно подтаивает под колесами автомобильного транспорта даже при температуре воздуха ниже нуля, хотя удельные давления шин относительно невелики: для шин высокого давления - $8 \div 10 \text{ кг/см}^2$, для шин низкого давления - $2 \div 5 \text{ кг/см}^2$.

В городских условиях температура снега и льда на дороге может быть значительно выше температуры воздуха в связи с тем, что они получают значительное количество тепла из почвы от многочисленных подземных сооружений, а в ясные дни - от солнечной радиации. Особенно следует считаться с этим обстоятельством на асфальтобетонных покрытиях, хорошо поглощающих солнечную энергию сквозь тонкую ледяную пленку.

Зависимость снежно-ледяных отложений от плотности

Характеристика снежно-ледяных отложений	Средняя плотность снежно-ледяных отложений в т/м^3	Пределы колебаний плотности снежно-ледяных отложений в т/м^3	Примечание
Свежевыпавший, чистый, не уплотненный	0,12	0,115-0,125	Продолжительность лежания до 24 ч
То же, после уплотнения	0,2	0,18-0,22	$t = -2 \text{ }^\circ\text{C}$
Лежалый загрязненный, после уплотнения	0,26	0,23-0,29	Продолжительность лежания от 1 до 15 дней
Лежалый, грязный, собранный с улиц с малым движением, после уплотнения	0,34	0,32-0,36	-
Давно лежалый, очень грязный, собранный с улиц с интенсивным движением, после уплотнения	0,46	0,45-0,48	Продолжительность лежания свыше 15 дней
Сколка с улиц	0,73	0,69-0,77	-
Свежевыпавший, после уборки снегоочистительной машиной	0,25	0,210-0,284	$t = -2 \text{ }^\circ\text{C}$

При длительном нахождении на поверхности дороги снежно-ледяная корка (много-

кратно подтаивая и замерзая) становится все более однородной и гладкой. Снежно-ледяная корка, скалываемая с дорог при оттепелях, после длительного уплотнения ее транспортом достигает плотности в среднем $0,73 \text{ т/м}^3$. Объемный вес льда, образующегося на дорогах, в среднем составляет $0,9 \text{ т/м}^3$, засоренность посторонними включениями равна в среднем $4,85 \%$, пористость - $4,3 \%$, предел прочности при разрыве - $2,4 \text{ МПа}$, а при срезе - $1,65 \text{ МПа}$. Сила смерзания (сцепления) с асфальтобетоном изменялась от $0,9$ до $1,9 \text{ МПа}$ и в среднем не превышала $1,33 \text{ МПа}$. Сила внутреннего сцепления частиц при длительном воздействии в среднем составляла $1,2 \text{ МПа}$ и при мгновенном воздействии - $3,25 \text{ МПа}$.

Разработанный в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева ударный рабочий орган предназначен для малогабаритной самоходной установки (рис. 1), которая будет использоваться для уборки тротуаров, дорог и других труднодоступных территорий от снежно-ледяного образования [2, 3]. Рабочий орган не имеет аналогов среди малогабаритной техники и позволяет разбивать лед, сохраняя целостность дорожного или иного покрытия. Обслуживать и управлять малогабаритной самоходной установкой с ударным рабочим органом может один человек. При относительно большой производительности и небольшом потреблении топлива малогабаритная самоходная установка с ударным рабочим органом является хорошим вариантом для использования как в частном, так и в коммунальном хозяйстве.

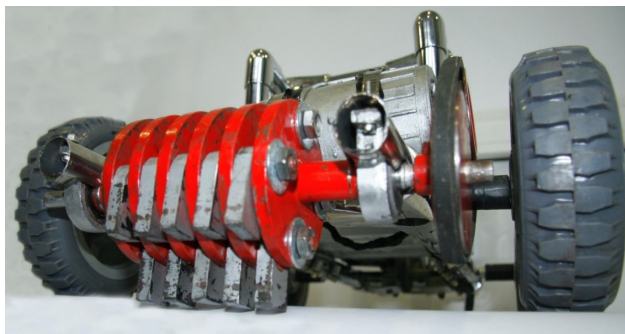


Рисунок 1 – Модель машины для скалывания льда с поверхности дорог

Рабочий орган (рис. 2) работает следующим образом. Вращаясь и двигаясь вместе с базовой машиной со скоростью ($v = 1 \text{ км/ч}$) вдоль очищаемой поверхности, ударный ротор, представляющий собой конструкцию из дисков, между которыми на расстоянии 15 мм расположены молотки с габаритными размерами: $a=65 \text{ мм}$ (длина), $b=30 \text{ мм}$ (ширина), $\delta=10 \text{ мм}$ (толщина) и массой $m=0,292 \text{ кг}$, разрушает снежно-ледяной покров, оставляя нетронутым асфальтобетонное или иное покрытие.



Рисунок 2 – Рабочий орган ударного действия

При вращении ударного ротора с угловой скоростью, молотки (установленные на оси на посадке с зазором) совершают ударное воздействие с силой удара $F=28$ Н на поверхность ледяного или уплотненно-снежного образования, что приводит к разрушению этого образования за счёт превышения прочности льда на сжатие силой инерции молотка, причем силу инерции молотка, необходимую для разрушения, получаем за счет вращения массы молотка и угловой скорости движения ударного ротора. Количество молотков в ряду 12, количество рядов по оси вращения 4. Расположение молотков один возле другого обеспечивает разрушение слоя снежно-ледяного образования по всей ширине тротуара или дороги в несколько проходов. При изменении скорости вращения ударного ротора и скорости перемещения его вдоль очищаемой поверхности регулируется качество и степень очистки.

Также молоток может иметь различные формы (рис. 3), которые могут быть эффективными при разных условиях снежно-ледяного образования, для которых будет применен рабочий орган ударного действия (плотность, толщина образования и т. д.).

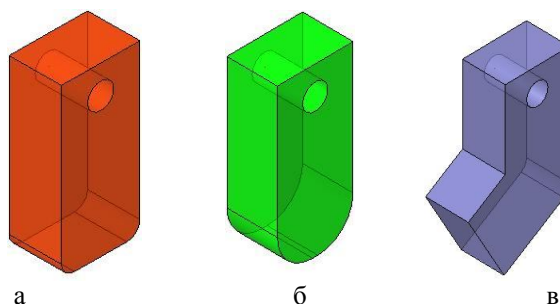


Рисунок 3 – Виды молотков (а - молоток для разрушения льда, б - молоток для разрушения льда с большей толщиной покрытия, в - молоток для разрушения уплотненного снега)

Прочность льда при сжатии составляет $[\sigma_{сж}]=0,18...0,19$ МПа, чтобы вычислить геометрические размеры кулачка воспользуемся обратным расчетом, то есть чтобы достигнуть необходимого разрушающего усилия, должно выполняться условие: давление (P , Па) кулачка на разрушаемый лед (рис. 4) должно быть больше или равно прочности льда при сжатии $P \geq [\sigma_{сж}]$. Известно, что прочность асфальта на сжатие составляет 4 МПа, прочность льда на сжатие - 0,2 МПа.



Рисунок 4 – Процесс разрушения снежно-ледяных образований

Важнейшим параметром, характеризующим процесс удаления льда с поверхности автомобильных дорог, является величина затрат энергии на осуществление данного процесса. В связи с тем, что крутящий момент и усилие подачи за один оборот рабочего органа изменяются с постоянной амплитудой и периодом колебаний от минимальных до максимальных значений каждый, а расчёт мощности ведётся исходя из максимальных усилий, действующих на рабочий орган и практически не зависящих в данном случае от угла поворота рабочего органа, то выражение для определения данного параметра примет вид

$$N_c = v_n P_m + \omega M_r, \quad (1)$$

где v_n - скорость подачи; ω - угловая скорость; M_r - крутящий момент; P_m - сила подачи.

Таким образом, мощность на разрушение удаляемой среды может быть определена как произведение крутящего момента на скорость вращения рабочего органа ударного действия, а мощность на создание тягового усилия - как произведение скорости движения машины на величину этой силы. Так как максимальные значения величин подачи P_m и крутящего момента возникают для M_r в момент удара, а для M_r при срезании удаляемой среды с очищаемой поверхности, то выражение (1) можно представить в виде

$$N_c = v_n [n_n P_i \cos \varphi] + \omega [n_n (P_{cut} + P_f) (S' - y_k + L_S)], \quad (2)$$

где P_i - ударная сила; n_n - число бойков в одной плоскости, перпендикулярной оси вращения; φ - угол взаимодействия бойка с ледяной поверхностью; P_{cut} - сила резания; P_f - сила трения; S' - расстояние от места крепления к приводному цилиндру до точки крепления бойка; y_k - предварительная деформация бойка; L_S - расстояние от ударной кромки до центра тяжести бойка.

Приближённый расчёт мощности разработки показывает (рис. 5, 6), что во время уборки территорий ото льда специальным рабочим органом ударного действия 6 % мощности машины тратится на перемещение и 94 % - на разрушение льда, т.е. мощность, затрачиваемая на перемещение машины с рабочим органом, также зависит от параметров разработки льда.

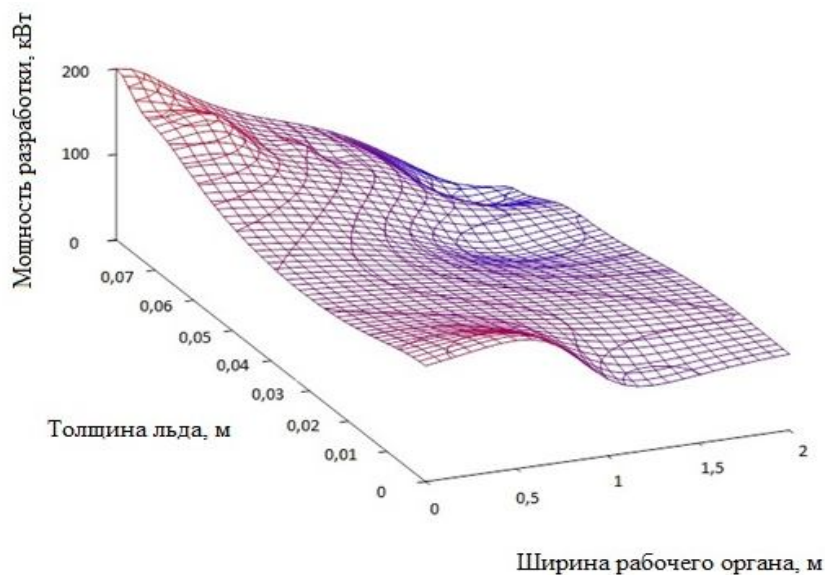


Рисунок 5 - Зависимость изменения мощности разработки льда от его толщины и от ширины рабочего органа

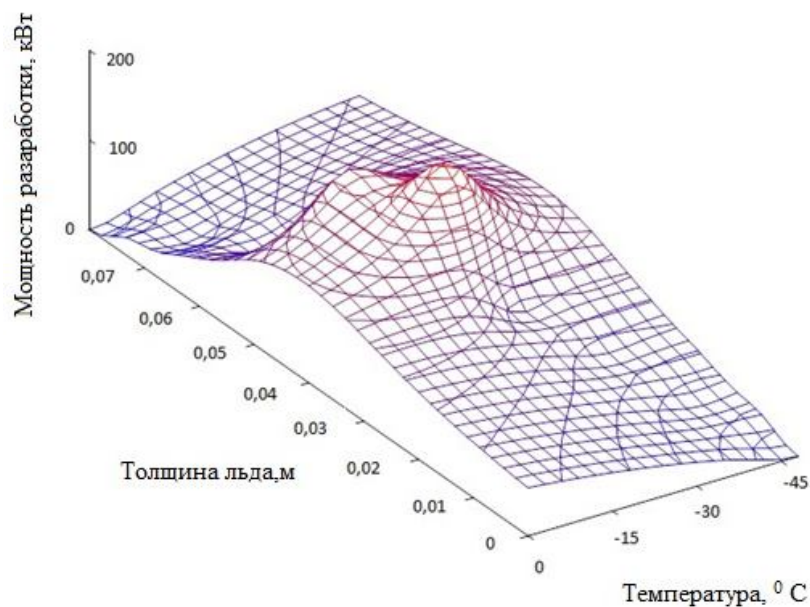


Рисунок 6 - Зависимость изменения мощности разработки льда от его толщины и от температуры окружающего воздуха

Льдоскалывающая машина, разработанная в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева служит для разрушения снежно-ледяных покрытий автомобильных дорог и тротуаров. Этот инновационный метод работы не имеет аналогов в мире. Данный рабочий орган имеет преимущество – воздействуя на поверхность льда или уплотненного снега, не разрушается дорожное покрытие, это подтверждают приведенные расчеты и исследования. Эффективность данной установки за-

ключается:

- 1) в сокращении физического труда, так как управлять установкой может один человек;
- 2) простоте эксплуатации и ремонта;
- 3) экономии материальных средств на эксплуатационные расходы.

Список литературы

1. Дудкин М.В. Пружинный орган для разрушения льда на автодорогах / М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, М.У. Рахимбердинова // Praha: Publising House «Education and Science» s.t.o. - 2010. - S. 11-18.
2. Инновационный пат. РК № 23190 // А.с. Республики Казахстан № 66026. МПК E01H 5/12. Заявитель и патентообладатель ВКГТУ им. Д. Серикбаева. - № 009/1307.1. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах / М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, А.В. Смурыгин; Оpubл. 15.11.2010, Бюл. № 113.
3. Инновационный пат. РК 23189 // А.с. Республики Казахстан № 66022. МПК E01H 5/12. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах / М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, Р.С. Емельянов, и др.; Оpubл. 15.11.2010, Бюл. № 11.

Получено 18.07.2013

ӘОЖ 621.7.011

К.Т. Шеров, М.Р. Сихимбаев, А.К. Шеров, А.В. Маздубай, М.М. Мұсаев
ҚарМТУ, Қарағанды қ.

Т.Б. Құрманғалиев

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ, Өскемен қ.

**ТЕРМОФРИКЦИЯЛЫҚ КЕСУ ПРОЦЕСІНДЕ ДАЙЫНДАМАДА ЖЫЛУЛЫҚ АҒЫМДАРДЫҢ ТАРАЛУЫН
ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУ**

Заманауи ғылым мен техниканы дамытудың негізгі бағыттарының бірі өндірісте кеңінен қолданылатын қарқынды технологияларды жарату және жетілдіру болып табылады. Машинажасау саласындағы өндіріс технологиясын жетілдіру арқылы еңбексыйымдылығын төмендету ғалымдар мен өндірушілердің ғылыми ізденістері бағытталған өзекті мәселе болып отыр.

Қарағанды мемлекеттік техникалық университетінің машинажасау технологиясы кафедрасында бірнеше бағыттарда ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау жолға қойылған. Солардың бірі – металдарды және қорытпаларды термофрикциялық өңдеу (ТФӨ) технологияларын ғылыми зерттеу арқылы оның жаңа әмбебап, үнемді әдістерін жарату бойынша атқарылып жатқан ғылыми-зерттеу жұмыстары.

Бұл жұмысқа, әрине, студенттер, магистранттар және докторанттар да жұмылдырылған. Олардың осы ТФӨ технологияларын терең үйрену мақсатында ғылыми-техникалық әдебиеттерді оқуы, бұл технологияны машинажасау саласында кең ауқымда қолдау мүмкіндігін көрсетті. ТФӨ әдісімен келесі технологиялық операцияларды:

– дайындау операцияларын орындауға (қабыршақ жою, қию, кенермен жою т.с.с.);
– беттерді өңдеуге (жазық бет, цилиндр, конус, тесік, пішін қалыптастыру, бұйымды қалыптасыру);

– бет сапасын арттыруға (ФАБО, беріктендіру (термоөңдеу), легірлеу);

– бұйымдарды біріктіруге (үйкеліспен дәнекерлеу, тесікті қыздыру, дөңгелектеу (құбыр ұштарын), айналдыру, тартумен құрау, тойтаруға болатындығы анықталды [1].

ТФӨ металды қыздыру қысымымен өңдеудің бір түрі болып табылады, ол дайындама бойында жоғары жылдамдықпен қозғалған құралдың дайындамамен түйісуі есебінен жүзеге асады. Машинажасау саласында тетіктерді ТФӨ алғашқы тарихи әдістерінің бірі материалдарды кесу болып табылады [2].

Бұл әдісті орындауда кесу құралы ретінде жұқа болат диск түріндегі үйкеліс дискісі немесе үлкен жылдамдықта қозғалатын (50-100 м/с-қа дейін) лентаны қолданады. Құралдың үйкелісі нәтижесінде дайындамамен түйісу орнында көп мөлшерде жылу бөлінеді, ол дайындама материалының жұмсаруына және балқуына алып келеді. Құрал кесу процесінің соңына дейін жоғары температурада қызған кесілетін материалмен байланыста болады. Бірақ құралдың өзі мүлдем қызбайды.

Бұны былайша түсіндіруге болады: құралдың кесу жиегінің кез келген нүктесі дайындамамен аз уақытқа ғана байланысқа түскендіктен, ол жоғары температураға дейін қызып үлгермейді. Ал кесілетін дайындаманың бөліктері құралдың кесу жиектерінің түрлі нүктелерімен тоқтаусыз өзара байланыста болады. Үйкеліс нәтижесінде бөлінетін жылу металдың аз көлеміне ғана жиналатындықтан, ол өте жылдам түрде балқу температурасына дейін жетеді. Балқу күйіне жеткен металл қозғалыстағы құрал арқылы кесу аймағынан шығарылады. Үйкеліс дискілерімен металды кесу, оның кесу жиектерімен орындалады. Диск диаметрі кесілетін пішіннің өлшеміне байланысты болады. Практикада дискінің диаметрін 250 мм-ден 1300 мм-ге дейін (1,5 мм-ден 8,0 мм-ге дейінгі қалыңдықта) қабылдайды. Дискінің материалын дайындама материалына, қалыңдығына және диск жылдамдығына байланысты тағайындайды.

Болат 20 және Болат 30, 50Г, 60Г болаттарын қолданады. Дискінің жұмысшы бетінің беріктігі 1500-2000 рет кесуді құрайды. Одан кейін оны 10-15 ретке дейін қайта баптап жаңартуға болады. Нәтижесінде дискінің жалпы беріктігі 15000-нан 20000-ға дейінгі кесуді құрайды (дискінің жұмыс істеу мерзімі 300 сағаттан артық). Бұл әдіспен кесуге әртүрлі материалдар беріледі. Кесу қуаты дайындама материалына байланысты болады және ол ондаған кВт-ты құрауы мүмкін.

Беріс S әдетте 0,03-0,05 м/с құрайды, яғни өте жоғары болып табылады. Бұл әдістің артықшылықтары: өнімділігі жоғары; құрал конструкциясы қарапайым, беріктігі жоғары арзан материал; білдектің конструкциясы қарапайым, ол кесу процесін автоматтандыру үшін алғышарттар жасайды; әртүрлі материалдарды және дайындама пішіндерін кесу үшін мүмкіндіктер мол. Кемшілік жақтары: дискіні айналдыру жетегінің қуаты жоғары (дайындамаға ену кезінде); процесс барысындағы шу (сықырлау, шикыл); кесудің сапасы төмен (еріген металдар).

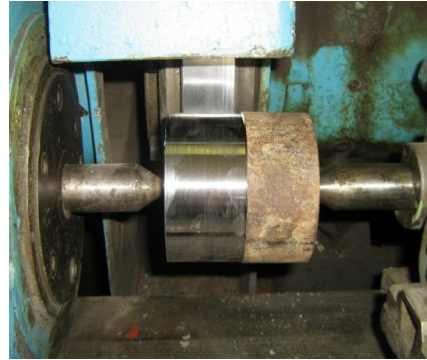
Материалдың және құрал геометриясының, сондай-ақ өңдеу режимінің белгілі бір үйлесімі кезінде дайындама пластикалық күйге дейін жетуі немесе балқуы мүмкін. Қызу температурасы және дайындаманың өңдеу бөлігінде қалыптасқан жағдайы ТФӨ әдісін практикада қолдануының технологиялық мүмкіндігін анықтайды.

Қазіргі уақытта Қарағанды мемлекеттік техникалық университетінің «Машинажасау технологиясы» кафедрасында тетіктерді ТФӨ бірнеше әдістері жаратылды [3,4]. Бұл бағытта тағы да ғылыми-зерттеу жұмыстары атқарылып жатыр. Үйкеліс дискісімен металл дайындамалардың тегіс беттерін термофрикциялық өңдеу қазіргі уақытта металды кесіп өңдеу тәсілдерінің ең озық және бәсекеге қабілетті тәсілдерінің бірі болып табылады. Тәсіл үйкеліс жұмысының жылуын және құрал ретінде болат дискіні қолдануға негізделген. Дискіні дайындауда қымбат, жоғары легіріленген, тез кескіш болаттарды, титан және қатты

корытпаларды үнемдеуге мүмкіндік беретін арзан құрылымдық болаттар қолданылады. 1-суретте жазық және цилиндрлік беттерді ТФӨ процесі көрсетілген.



а



б

1-сурет – Жазық және цилиндрлік беттерді ТФӨ процесі:
а – жазық бетті ТФӨ; б - цилиндрлік бетті ТФӨ

Металдарды кесу процесіндегі жылулық құбылыстар беттік қабаттың сапалық көрсеткіштеріне, құралдың өтпей қалу қарқындылығы мен шыдамдылығына айтарлықтай әсер ететін кесу аймағындағы температураны анықтайды. Сонымен, ТФӨ кезіндегі кесу аймағындағы температураны және дайындамадағы жылулық ағымдардың таралуын анықтауға бағытталған зерттеулер ғылыми және практикалық қызығушылықтар тудырып отыр.

Кесу аймағындағы температура құралдың материалы мен өңделіп жатқан материалдың қасиеттеріне, құрал мен дайындаманың түйісу аймағындағы өзара әрекеттесу жағдайына байланысты кесу процесіне әсер етуі мүмкін.

Өңделіп жатқан материалдың қасиеттеріне температураның әсерін бағалау кезінде екі факторды: жоғары температураның әсерінің ұзақтылығы мен деформациялану жылдамдығын ескерген жөн.

Статикалық сынаулар жағдайында орнатылған заңдылықтарды үлгілерді ұзақ уақыт қыздырудан кейін алады. Өйткені құралдың алдыңғы және артқы беттерінің түйісу алаңшалары ұзақ уақыт қызады.

Жүздеген және жүз мыңдаған секунд ішіндегі жоғары температураның әсері өңделіп жатқан тетіктің механикалық қасиеттерін өзгерту үшін жеткіліксіз болады. Сондықтан да өңделіп жатқан металға кесу аймағындағы жоғары температураның әсері құралдың жұмысшы беттерімен жанасатын оның жұқа қабаттарымен шектеледі және үйкеліс жағдайы, түйісу жүктемелері, кернеулер, тозу түрі және т.б. өзгергенде көрінеді.

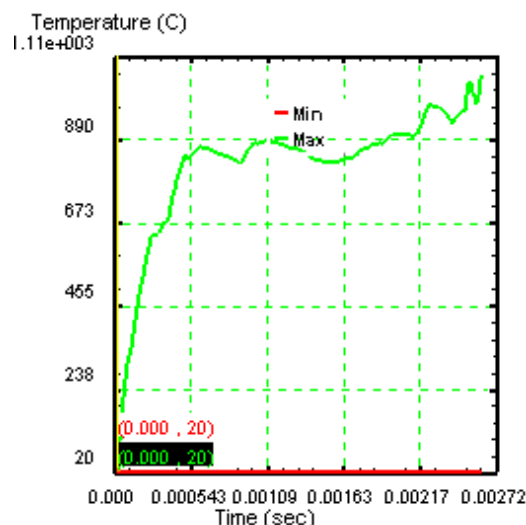
Кесу аймағындағы температураны және ТФӨ кезінде дайындамадағы жылулық таралуларды DEFORM 3D бағдарламасында соңғы элементтер тәсілімен зерттеу үшін кіріс параметрлері берілді.

Температураны зерттеу үшін кіріс параметрлерінің мәндері

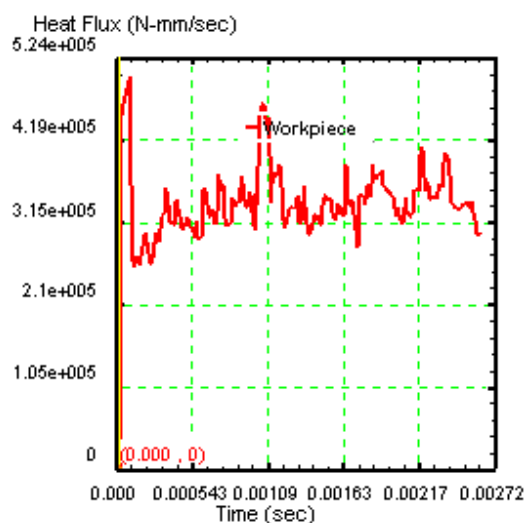
Өңделетін материал	Үйкеліс дискісінің материалы	Үйкеліс дискісінің диаметрі, D , мм	Кесу жылдамдығы, v м/с	Беріс S , мм/мин	Кесу тереңдігі, t , мм
Коррозияға төзімді болат 12X18Н10Т	Болат 50	350	30	250	2

2 және 3-суреттерде өңдеу аймағындағы температураның және DEFORM 3D бағдар-

ламасында соңғы элементтер тәсілімен алынған жылулық таралулардың графикалық суреттері көрсетілген.



2-сурет - Өңдеу аймағындағы температура



3-сурет - ТФӨ кезіндегі дайындама бойындағы жылулық ағымдар

Алынған мәліметтерді талдау нәтижесі келесі қорытындыны жасауға мүмкіндік береді:

1. Температуралық өріс кесу аймағындағыдай дайындаманың бойына таралуда да экстремалды түрде болады.
2. Берілген кіріс мәліметтерінде температураның шамасын 700-900 °C аралығында таңдайды және одан жоғары болса, металл қабаттарында фазалық өзгерістердің пайда болу қаупі туындайды.
3. Жүргізілген зерттеу DEFORM 3D бағдарламасын түрлі машинажасау материалдары үшін ТФӨ кезінде соңғы элементтер әдісімен тиімді өңдеу тәртіптерін анықтау мақсатында қолдандудың тиімділігін көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Нечаев К.Н. Термофрикционная обработка – перспективное технологическое направление обработки и сборки деталей // Инструмент и технологии. СПб. институт машиностроения. – Санкт-Петербург: Изд-во СПб ИМ, 2005. – № 17-18. – С.157-162.
2. Шеров К.Т. Способ термофрикционной обработки плоскости и конструкция диска трения / К.Т. Шеров, Г.С. Жетесова, О.П. Муравьев и др. // Инновационный патент №22998 РК на изобретение 15.10.2010, бюл. № 10.
3. Шеров К.Т. Способ термофрикционной режущо-упрочняющей обработки цилиндрических поверхностей и конструкция диска трения / К.Т. Шеров, Г.С. Жетесова, А.К. Шеров и др. // Инновационный патент №25649 РК на изобретение. 16.04.2012 г., бюл. № 4.

7.11.2013 қабылданды

ӨОЖ 621.7.011

К.Т. Шеров, М.Р. Сихимбаев, А.К. Шеров, А.В. Маздубай, М.М. Мұсаев
ҚарМТУ, Қарағанды қ.

Т.Б. Құрманғалиев

Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ, Өскемен қ.

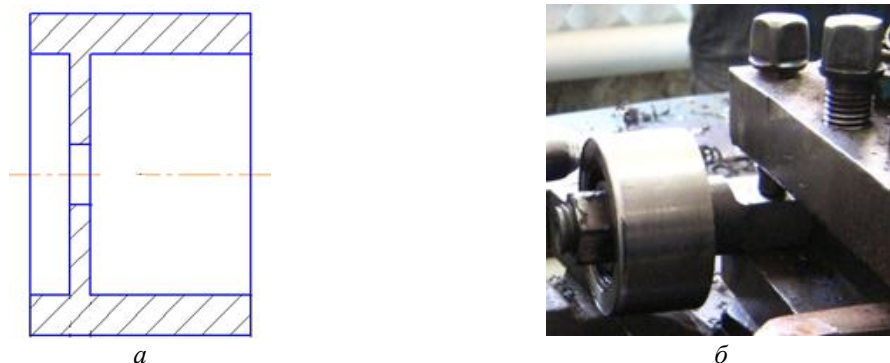
**ЦИЛИНДРЛІК БЕТТЕРДІ РОТАЦИЯЛЫҚ-ФРИКЦИЯЛЫҚ ЖОНУ ҚҰРАМАЛЫ ӘДІСІН
ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУ**

Ғылыми-зерттеу жұмысының өзектілігі. Қазіргі заманауи кезеңде машинажасаудың еңбек өнімділігін тұрақты түрде арттырусыз және шығарылатын бұйымдардың сапасын жақсартусыз дамыту мүмкін емес. Бұл мәселені шешу үшін өңдеудің жаңа әдістері жаратылып, жүзеге асырылуда. Ғылыми әдебиеттер, өнертабыстар бойынша және өндіріс жағдайындағы жүргізілген талдау нәтижелері сыртқы цилиндрлік беттерді жону операциясы көпшілік айналушы дене типтес тетіктерді даярлауда, атап айтқанда: біліктер, тісті дөңгелектер, шкивтер, төлкелер, сақиналар, муфталар, сомындар және т.б. кең қолданатындығы мәлім болды. Сондай-ақ олардың көпшілігі токарлық жону операциясынан кейін, термиялық өңдеу және ажарлау операцияларын қолдау арқылы даярланады. Бұл технологиялық цикл, тетіктің өзіндік құнының жоғары болуына әкеп соғады. Осы технологиялық циклді қысқарту мүмкіндігіне ие болған әдістің бірі ротациялық жону әдісі болып табылады [1,2,3]. Бұл әдіспен әртүрлі пішінді (сыртқы және ішкі цилиндрлік, конустық, сұлбалы, бүйір және т.б.) беттерді өңдеуге және бет қабатының жоғары сапасын қамтамасыз ету мүмкін. Осыған қарамастан бұл әдісті барлық өндіріске де, әсіресе, еліміздегі көпшілік өндіріс тән болған, жеке немесе жөндеу өндірістеріне енгізуде оның келесі кемшіліктері тосқауыл болып отыр: кескіш материалының (қатты қорытпа, тез кескіш болат) қымбаттылығы; кескіш беріктігінің төмендігі; кескіштің соққыға шыдамсыздығы және оның салдарынан морт сынуы.

Сондай-ақ өнертабыстар бойынша жүргізілген талдау және қол жеткізілген ғылыми жетістіктер [4,5] термофрикциялық өңдеу әдістерінің сыртқы цилиндрлік беттерді кесу-беріктендіру технологиялық мүмкіндігі бар екенін көрсетті. Осыған және дәстүрлі ротациялық жону әдісіне сүйеніп, сыртқы цилиндрлік беттерді жонуда ротациялық-фрикциялық құрамалы жону әдісін қолдау айналушы дене типтес тетіктерді даярлау процесін біршама қысқартады және оларды жасау өзіндік құнын азайтады деп тұжырым жасалды.

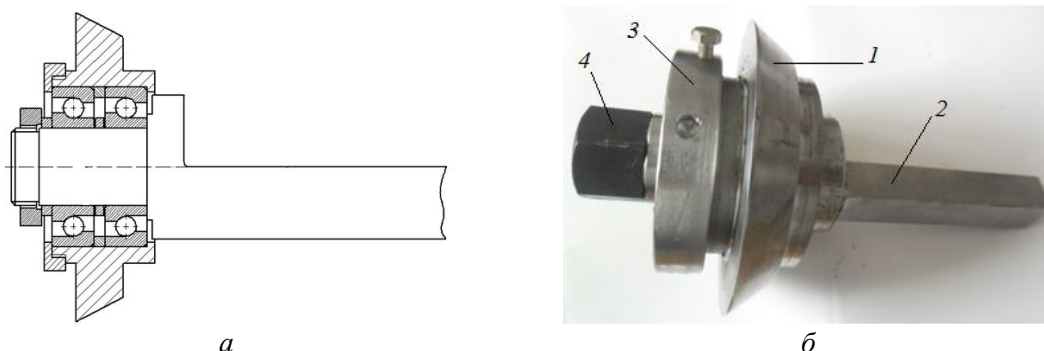
Ротациялық-фрикциялық жону әдісін зерттеу әдістемесі. Ротациялық-фрикциялық құрамалы жону әдісін жарату мақсатында Қарағанды мемлекеттік техникалық университетінің (ҚарМТУ) «Машинажасау технологиясы» (МТ) кафедрасында ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілді. Ротациялық-фрикциялық құралмен құрылымдық болаттардан даярланған дайындамалардың сыртқы цилиндрлік беттерін жону процесіне әсер ететін параметрлерді анықтаудың әдістеме кешенін, сондай-ақ ротациялық-фрикциялық жону процесінде пайда болатын әртүрлі құбылыстарды үйрену және зерттеу үшін сәйкес ақпараттар кешені дайындалды. Зерттеуді жүргізуде келесі әдістемелер қолданылды, яғни сыртқы цилиндрлік беттерді ротациялық-фрикциялық жону құралының оңтайлы құрылымын анықтау кесуші құралдарды жобалау ғылымы негізінде, сондай-ақ құрылымдық болаттардың ротациялық-фрикциялық жонуға бейімділік деңгейін ғылыми зерттеу металдарды кесу теориясы және материалтану ғылымы негіздеріне сүйеніп жүргізілді. Тәжірибелік ғылыми зерттеу арқылы ротациялық-фрикциялық жонуда кесу тәртіптерінің өңделген беттің сапа көрсеткіштеріне әсері зерттелді. Тәжірибелік ғылыми зерттеу жүргізу үшін 1К62 модельді токарлық-винткесушідегі қолданылды. Ғылыми-зерттеу эксперименттерін жүргізу үшін әртүрлі материалдардан жасалған және әртүрлі құрылымға ие болған екі ротациялық-фрикциялық арнайы жону құралдары жобаланып, даярланды. Бастапқы ротациялық-фрикциялық жону құралы Болат 45 материалынан даярланды. Екінші

құрал Болат 50 материалынан даярланды. 2-суретте Болат 45 материалынан даярланған ротациялық-фрикциялық жону құралының сұлбасы және фотосуреті көрсетілген.



2-сурет – Болат 45 материалынан даярланған ротациялық-фрикциялық жону құралы: *а* – ротациялық-фрикциялық жону құралының сұлбасы; *б* – ротациялық-фрикциялық жону құралының фотосуреті

3-суретте Болат 50 материалынан жасалған ротациялық-фрикциялық жону құралының сұлбасы және фотосуреті көрсетілген.



3-сурет – Болат 50 материалынан жасалған ротациялық-фрикциялық жону құралының сұлбасы: *а* – ротациялық-фрикциялық жону құралының сұлбасы; *б* – ротациялық фрикциялық жону құралының фотосуреті: 1 – кескіш жүзі; 2 – ұстағыш; 3 – құрсау; 4 – сомын

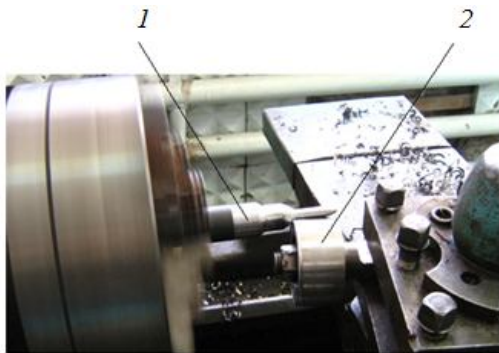
Термофрикциялық өңдеу технологиясы негізі құрал жасайтын материалдан емес, қарапайым құрылымдық болаттардан жасалған кесуші құралдармен өңдеуге негізделген. Әрине, бұл жерде өңделетін материал маркасына тәуелді түрде кесуші құрал материалы таңдалады. Бірақ барлық жағдайда да кесуші құралдың материалы қарапайым болаттардан жасалады. Осы фактор оның негізгі артықшылығы болып саналады.

Цилиндрлік беттерді ротациялық-фрикциялық жону процесін ғылыми-зерттеу тәжірибелерін жүргізу. Ғылыми-зерттеу тәжірибесін жүргізу үшін Болат 20 материалынан жасалған дайындама таңдалды. Үлгі дайындаманы үш жұдырықшалы қысқыға бекітіп, кесуші құралды кескіштұтқышқа орнаттық. Кесуші құралды үлгі дайындама осіне қатысты 10-15° шегінде орнаттық.

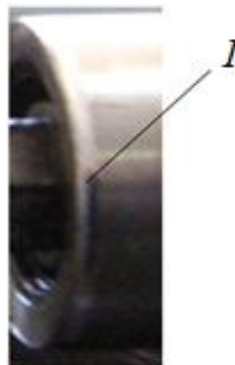
4-суретте Болат 45 материалынан даярланған құралмен ротациялық-фрикциялық жону

процесін тәжірибелік зерттеу кезеңі көрсетілген.

Ғылыми-зерттеу тәжірибесі келесі кесу тәртіптерімен жүргізілді: $S = 0,1-1$ мм/об; $v=0,4-5$ м/с; $t=1-3$ мм. Болат 45 материалынан даярланған құралмен жүргізілген тәжірибенің бастапқы кезінде кесуші құралдың жиегінің тозуға душар болғаны байқалды (5-суретті қараңыз). 5-суретте Болат 45 материалынан даярланған ротациялық-фрикциялық құралдың жиегінің тозуы көрсетілген.

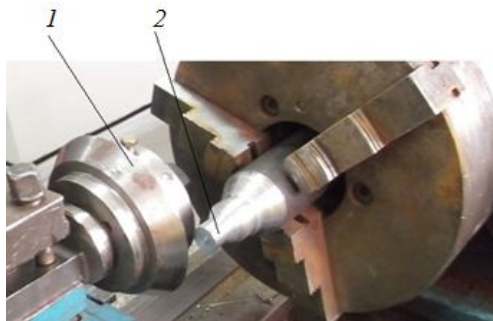


4-сурет – Болат 45 материалынан даярланған құралмен ротациялық-фрикциялық жону процесін тәжірибелік зерттеу кезеңі: 1 – үлгі дайындама; 2 – ротациялық-фрикциялық құрал



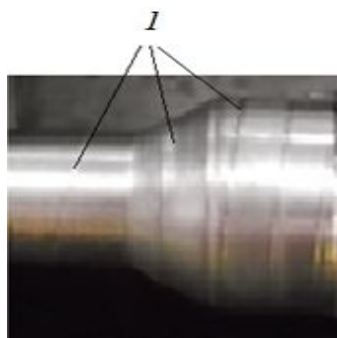
5-сурет – Болат 45 материалынан даярланған ротациялық-фрикциялық құралдың жиегінің тозуы

Бұл жағдайды жеткілікті жылдамдықтың қамтамасыз етілмегендігі нәтижесінде айналмасоғудың жүзеге келуімен түсіндіруге болады. Ротациялық-фрикциялық жонудың бір ерекшелігі онда кесуші құрал айналу жылдамдығын дайындамадан алады. Яғни ол мәжбүр айналу арқылы жұмыс істейді. Болат 50 материалынан даярланған құралмен жүргізілген тәжірибе 6-суретте көрсетілген.



6 - сурет - Болат 50 материалынан даярланған құралмен жүргізілген тәжірибе фотосуреті:
1 – ротациялық-фрикциялық құрал; 2 - үлгі дайындама

Болат 50 материалынан даярланған құралмен жүргізілген тәжірибеде үлгі дайындаманы өңдеу анағұрлым сапалы жүзеге асты. Бірақ өңделген бетте кесуші құралдың біркелкі емес іздері қалуы байқалды және цилиндрлік беттің пішіннен ауытқуын көзбен бақылауға болатын еді (7-суретті қараңыз).



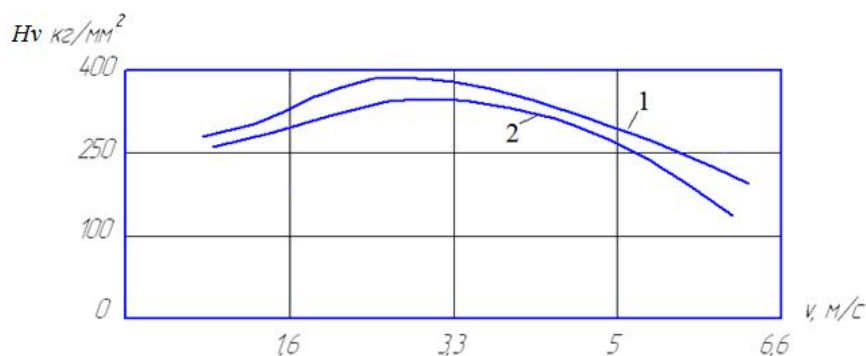
7-сурет – Болат 50 материалынан даярланған құралмен өңделген беттердің күйі:
1-кесуші құрал қалдырған біркелкі емес іздер мен пішіннен ауытқулар

Өңделген беттердің бұл күйін ротациялық-фрикциялық құралды кескіштүтқышқа орнату, оның осін үлгі дайындама осіне қатысты орналастыру, кесу жылдамдығының оңтайлығы, өңдеу процесі кезінде майлау-суыту сұйығын беру, тәжірибе жүргізілген жабдықтың дәлдігі сияқты және т.б. қателіктердің әсері деуге әбден болады.

Металдардың қаттылығы олардың ең негізгі қасиеттерінің бірі болып табылады. Біз өңделген беттің қаттылығын кесу процесі тоқтағаннан соң жүргіздік. Қаттылықты МЕТ-У1 приборының көмегімен Виккерс тәсілі бойынша анықтадық. Өлшеу тәжірибесі ҚарМТУ МТ кафедрасының базасында жүргізілді. Өлшеу кезінде бөлме температурасы сақталды және индикаторды қайта қосу аралығы 15-20 секунд деп қабылданды. Өлшеу нәтижелерін өңдеу арқылы келесі графиктегі байланысты алуға қол жеткіздік.

8-суретте өңдеу жылдамдығының қаттылыққа байланысы көрсетілген.

Болат 45 жасалған құралмен өңдеуде беттің қаттылығы жоғары екендігін көреміз. Бұл жағдайды өңделетін бет қабатында температураның жоғары болуы салдары екендігімен түсіндіруге болады.

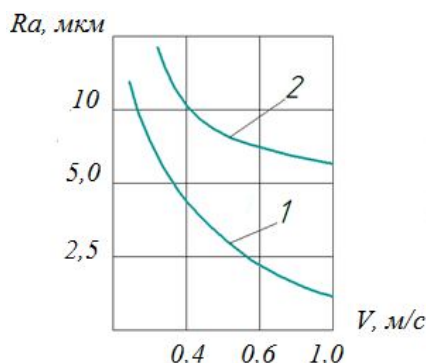


8-сурет – Өңдеу жылдамдығының қаттылыққа байланысы: 1 – Болат 45-тен жасалған ротациялық-фрикциялық құрал; 2 – Болат 50-ден жасалған ротациялық-фрикциялық құрал, $S=0,1$ мм/айн; $t = 1$ мм

Ал керісінше Болат 50 материалынан даярланған құралмен өңделген беттің қаттылығы біршама төмендігін көреміз, мұны құралмен өңдеуде бет қабатын кесу процесінде орындалған сияқты деген пікірді айтуға болады. Өйткені термофрикциялық өңдеу механизмі бет қабатында үйкеліс негізінде материалдың балқу температурасына жақын температураны қамтамасыз етуге негізделген. Егер бұл жағдай шынында толығымен

орын алатын болса, бет қабатының қаттылығы анағұрлым жоғары болуы мүмкін еді. Мұны толығымен анықтау үшін келешекте кең ауқымдағы зерттеулер қажет екендігі сөзсіз. Эксперимент нәтижелері бойынша ротациялық-фрикциялық жону кезінде қаттылық градиенті тәртіптерді өзгерту арқылы реттелуі мүмкін деген тұжырымға келдік. Біз ғылыми-зерттеу тәжірибесінде өңделген беттің кедір-бұдырлығын анықтауды TR100 Surface Roughness Tester приборының көмегімен орындадық. Прибордың көмегімен анықталған кедір-бұдырлық мәндеріне және кесу тәртібіне қатысты график тұрғызуға қол жеткізілді.

9-суретте өңдеу жылдамдығының кедір-бұдырлыққа әсері бейнеленген график көрсетілген.



9-сурет –Өңдеу жылдамдығының кедір-бұдырлыққа әсері: 1 – Болат 50-ден жасалған ротациялық-фрикциялық құрал; 2 – Болат 45-тен жасалған ротациялық-фрикциялық құрал $S=0,1$ мм/айн; $t=1$ мм

Ғылыми-зерттеу нәтижелері Болат 50-ден жасалған ротациялық-фрикциялық құралмен өңдеу кезінде бет сапасының едәуір жақсы болғандығын көрсетті. Екі құралмен өңдеу кезінде де өңдеу жылдамдығы артқан сайын бет кедір-бұдырлығының жақсаруы байқалады. Әрине, ротациялық-фрикциялық жону әдісін ғылыми-зерттеу енді ғана басталып отыр деуге болады. Бұл әдістің кесу механизмін түбегейлі үйрену, әртүрлі материалдар үшін оңтайлы кесу тәртіптерін белгілеу келешекте көптеген ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындауды талап етеді.

Қорытынды.

1. Айналушы дене типтес тетіктердің сыртқы цилиндрлік беттерін ротациялық-фрикциялық кескіштермен жону мүмкін екендігі тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде анықталды.

2. Болат 50 материалынан даярланған құралмен жүргізілген тәжірибеде үлгі дайындаманы өңдеу анағұрлым сапалы жүзеге асты. Бірақ өңделген бетте кесуші құралдың біркелкі емес іздері қалуы байқалды және цилиндрлік беттің пішіннен ауытқуын көзбен бақылауға болатын еді. Өңделген беттердің бұл күйін ротациялық-фрикциялық құралды кескіштұтқышқа орнату, оның осін үлгі дайындама осіне қатысты орналастыру, кесу жылдамдығының оңтайлығы, өңдеу процесі кезінде майлау-суыту сұйығын беру, тәжірибе жүргізілген жабдықтың дәлдігі сияқты және т.б. қателіктердің әсері деуге әбден болады.

3. Болат 45-тен жасалған құралмен өңдеуде беттің қаттылығы жоғары екендігін көреміз. Бұл жағдайды өңделетін бет қабатында температураның жоғары болуы салдары екендігімен түсіндіруге болады. Ал керісінше Болат 50 материалынан даярланған құрал-

мен өңделген беттің қаттылығы біршама төмендігін көреміз, мұны құралмен өңдеуде бет қабатын кесу процесінде орындалған сияқты деген пікірді айтуға болады.

4. Ғылыми-зерттеу нәтижелері Болат 50-ден жасалған ротациялық-фрикциялық құралмен өңдеу кезінде бет сапасының едәуір жақсы болғандығын көрсетті. Екі құралмен өңдеу кезінде де өңдеу жылдамдығы артқан сайын бет кедір-бұдырлығының жақсаруы байқалады. Бұдан жылдамдықтың артуы бет сапасына жағымды ықпал етеді деп тұжырым жасауға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Ящерицын П.И. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын, А.В. Ворисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. - Мн.: Наука и техника, 1987. - 229 с.
2. Шеров К.Т. Новый способ формирования качества обработанной поверхности / К.Т. Шеров, М. Куванов, Б.Т. Мардонов // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент: Изд-во «Фан» РУз., 2001. - № 6-7. - С. 31-34.
3. Шеров К.Т. Новый способ многолезвийной ротационной обработки / К.Т. Шеров, И.К. Кушназаров, Б.Т. Мардонов / «Тзденіс-Поиск». Серия естеств. и технических наук. - Алматы: МОН РК, 2002. - № 2. - С. 251-256.
4. Шеров К.Т. Способ термофрикционной обработки плоскости конструкция диска трения / К.Т. Шеров, Г.С. Жетесова, Д.Ш. Уалиев и др. // Инновационный патент №22998 РК на изобретение 15.10.2010; бюл. № 10.
5. Шеров К.Т. Способ термофрикционной режуще-упрочняющей обработки цилиндрических поверхностей и конструкция диска трения / К.Т. Шеров, Г.С. Жетесова, А.К. Шеров и др. // Инновационный патент № 25649 РК на изобретение. 16.04.2012; бюл. № 4.

Получено 7.11.2013
