

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
«ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ»

Хмелевая Юлия Александровна

УДК 621.78.015

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА  
ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ

Специальность 8.05050201 – Технология машиностроения

Автореферат  
Магистерской дипломной работы

Краматорск – 2014

Дипломной работой является рукопись

Работа выполнена в Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины

**Научный руководитель** д.т.н, проф.

**Ковалевский Сергей Вадимович,**

Донбасская государственная машиностроительная академия

Защита состоится 24 декабря в Донбасской государственной машиностроительной академии по адресу г. Краматорск, ул. Шкадинова 72, 84313

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Повышение качества деталей машин является одной из основных проблем в машиностроении. Решение данной проблемы и его реализация на производстве позволят вывести современное машиностроение на новый уровень и внести весомый вклад в научно-технический прогресс.

Причиной недолговечности деталей машин является качество поверхностного слоя, так как именно он испытывает наибольшее напряжение при различных видах нагрузок.

Низкие эксплуатационные свойства поверхностного слоя влияют на долговечность выпускаемых изделий. Для этого целесообразно использовать методы поверхностного упрочнения, требующие минимальных ресурсозатрат и позволяющие получать недорогую продукцию высокого качества.

**Цель работы:** предложить метод упрочнения поверхностного слоя на основе применения термитной смеси и использования тепла от ее сгорания, возникающего в результате управляемой высоко экзотермической реакции.

Согласно поставленной цели определены следующие **задачи:**

- смоделировать процесс распространения волны горения термитной смеси на базе использования клеточных автоматов
- обеспечить экзотермичность реакции
- определить оптимальные режимы обработки
- достичь максимальной температуры горения термитной смеси
- исследовать изменения прочностных характеристик поверхностного слоя

**Объектом исследования** является способ термообработки с применением термитных смесей.

**Предмет исследования:** управляемые экзотермические процессы.  
Методы исследования – теоретико-экспериментальные.

**Методы исследований** – теоретико-экспериментальные.

Теоретические исследования выполнены на основе статистических методов в виде машинного эксперимента с использованием клеточных автоматов. Компьютеризированное исследование проводится за счет моделирования процесса распространения волны горения. Экспериментальные исследования выполнены на базе использования метода поверхностного упрочнения на основе применения термитной смеси и тепла от ее сгорания.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью табличного процессора Excel.

**Научная новизна работы:** впервые обосновано применение термитной смеси с использованием энергии, выделяющейся в результате управляемой экзотермической реакции в среде коронного разряда для упрочнения ответственных поверхностей деталей машин.

**Практическая ценность:**

- создана модель распространения волны горения при обработке цилиндрической поверхности вала с приведенными значениями скорости и подачи движения температурного источника на базе использования клеточных автоматов
- определена зависимость температуры поверхности от скорости и подачи перемещения теплового источника
- найдены основные особенности и соотношения между характеристиками термических смесей и достигаемым результатом для различных материалов

**Апробация результатов работы:** основные теоретические и прикладные положения и выводы работы представлены на четырех международных и всероссийских конференциях: Научно-практической конференции Всеукраинского конкурса студенческих научных работ в отрасли «Машиноведение» (г. Чернигов, ЧНТУ, 26-27 марта 2014г.); Студенческой научно-технической конференции «Молодая наука» (г. Краматорск, ДГМА, 10 апреля 2014г.); III Международной научно-

технической конференции молодых ученых и студентов «Актуальные задачи современных технологий» (г. Тернополь, ТНТУ им. И. Пулюя, 19-20 ноября 2014г.); Всеукраинской научной конференции «Нейросетевые технологии и их применение» (г. Краматорск, ДГМА, 10 декабря 2014 г.).

**Публикации.** Основная идея и содержание работы опубликованы в трех сборниках научных трудов.

**Личный вклад** автора заключается в проведении научных исследований, анализе полученных данных, обработке полученных результатов.

Также по результатам работы составлена заявка на патент «Спосіб термообробки з застосуванням термітних сумішей» (Ковалевський С.В., Хмельова Ю.О.).

**Структура и объем работы.** Магистерская дипломная работа содержит введение, семь разделов и приложения. Содержание разделов магистерской работы изложено на 107 страницах, из них 34 рисунок, 5 таблиц, 3 приложения, 61 использованный литературный источник.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первом разделе: «Анализ литературных источников»** – проведен анализ литературных источников. Определены основные методы термообработки, направленные на повышение эксплуатационных характеристик деталей машин. Некоторые из распространенных методов, такие как закалка, отпуск и цементация, приводят к наводороживанию стали, что оказывает неблагоприятное воздействие на прочностные характеристики детали. Также рассмотрены новые эффективные методы обеспечения эксплуатационных характеристик.

Исходя из анализа рассмотренных методов и учитывая их недостатки, решено разработать метод упрочнения поверхностного слоя на основе

применения управляемых экзотермических процессов за счет использования термитной смеси.

**Во втором разделе: «Методика исследований»** – разработана методика исследований, для достижения цели создана модель распространения волны горения термитной смеси и экспериментальная установка.

Метод поверхностного упрочнения требует дополнительных эмпирических анализов, существует необходимость моделирования процесса распространения волны горения. Поэтому разработана модель движения теплового источника на базе клеточных автоматов. Это дает возможность следить за экзотермическими процессами и управлять ими, выбирая при этом различные режимы обработки, что обеспечивает дополнительную экономию ресурсов при проведении эксперимента.

Таким образом, для машинного эксперимента создана модель распространения волны горения (при обработке цилиндрической поверхности вала диаметром  $d=50\text{мм}$  с приведенными значениями скорости и подачи движения температурного источника) на базе использования табличного процессора Excel.

Одной из главных задач машинного эксперимента является нахождение характерных режимов обработки и, как следствие, обеспечение максимальной температуры прохождения реакции горения и стабильности свойств материала. Поэтому эксперимент рассматривает пять вариантов осуществления реакции горения. Для каждого варианта задается разная скорость, соответствующая порядковому номеру варианта ( $V=1..5^\circ\text{C}/\text{с}$ ). При этом изменение подачи рассматриваем как смещение ряда перехода, соответствующего подаче от 1 до 4 мм на оборот вала ( $S=1..4\text{ мм/об}$ ).

Методика экспериментальных исследований базируется на результатах, полученных в ходе машинного эксперимента, и заключается в использовании тепла от сгорания термитной смеси, которое выделяется в

результате высоко экзотермических реакций, что впоследствии обеспечивает термические процессы в поверхностном слое детали.

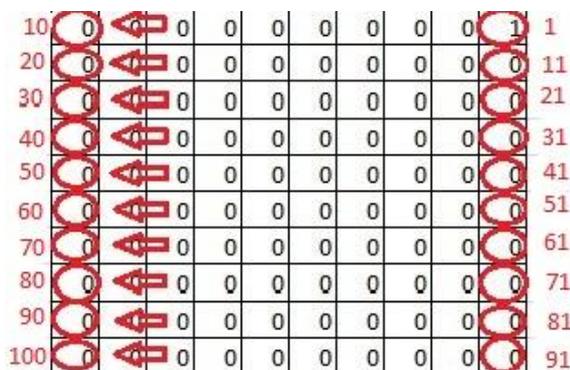


Рисунок 1 – Моделирование перемещения теплового источника с приведенной скоростью  $V=1^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и приведенной подачей  $S=1$  мм/об.

Термитная смесь должна быть рассчитана так, чтобы в ходе реакции выделилось необходимое количество тепла для расплавления и перегрева конечных продуктов реакции.

Для инициирования экзотермической реакции в точке термитной смеси необходимо создать температурный толчок (снизу вверх), после чего волна горения распространится на всю смесь.

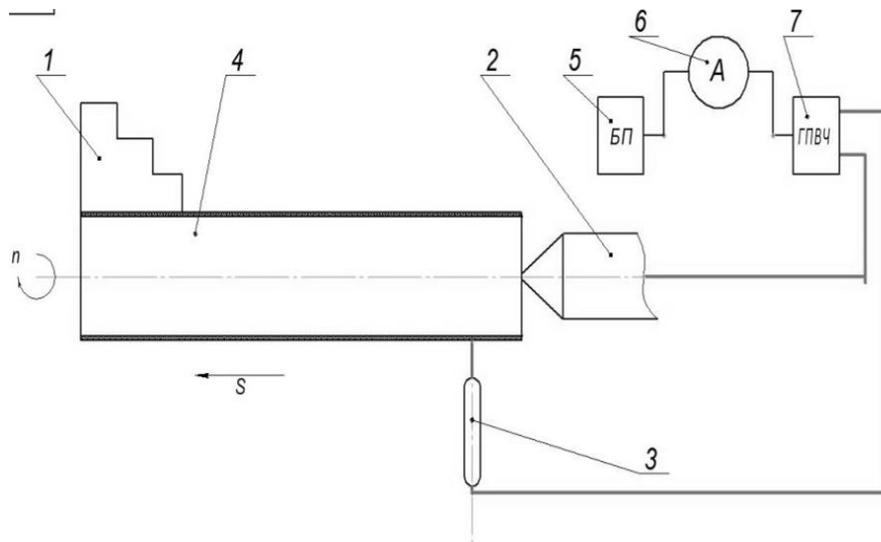
Экзотермическая реакция протекает с определенной скоростью, что позволяет достичь максимальной температуры горения и избежать теплопотерь за счет перехода части теплоты из поверхностного слоя во внутренний.

Экспериментальная установка представлена на рис.2.

Заранее подготовленный образец подвергается предварительной токарной обработке на токарно-револьверном станке проходным резцом из твердого сплава.

После чего на деталь наносится предварительно подготовленный железо-алюминиевый термит (23% алюминия и 77% оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )) равномерным слоем толщиной 1, 2 и 3 мм. Детали, которая устанавливается

токарном станке, и инструменту задаются режимы обработки, которые выбираются в соответствии с найденными зависимостями.



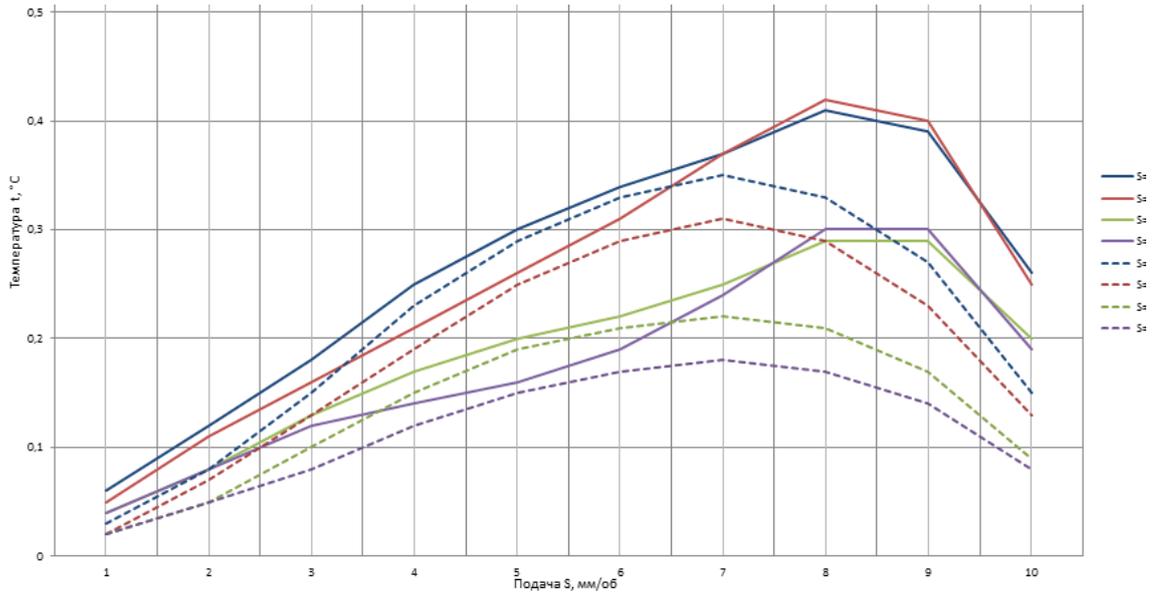
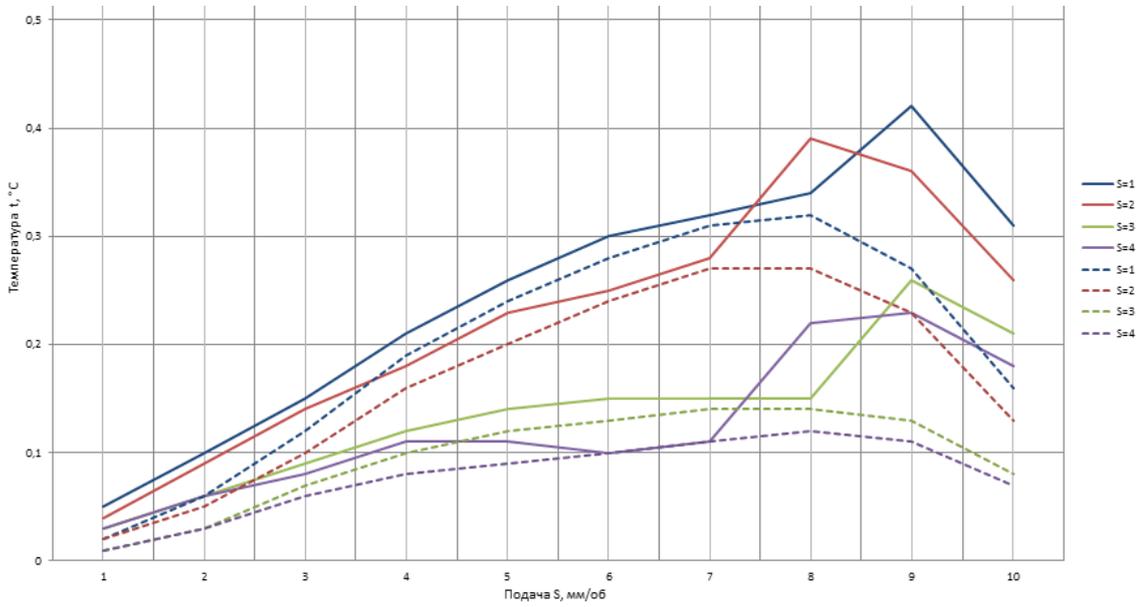
- 1 - патрон 3-х кулачковый; 2 - центр задней бабки токарно-револьверного станка; 3 - электрод; 4 - деталь  $d = 50\text{мм}$  с нанесенным покрытием;  
5 - блок питания; 6 - амперметр; 7 - генератор тока высокой частоты.

Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки

В качестве инструмента используется электрод, на который подается напряжение для возникновения коронного разряда. Вследствие воспламенения термитной смеси шнуром коронного разряда, возникает точечный источник, который инициирует экзотермическую реакцию.

В процессе горения выделяется кислород, который поддерживает этот процесс.

**В третьем разделе: «Анализ результатов теоретических исследований»** – по результатам эксперимента построены зависимости температуры поверхности от особенностей перемещения теплового источника (рис.3).

a)  $V=1^\circ\text{C}/\text{c}$ б)  $V=2^\circ\text{C}/\text{c}$

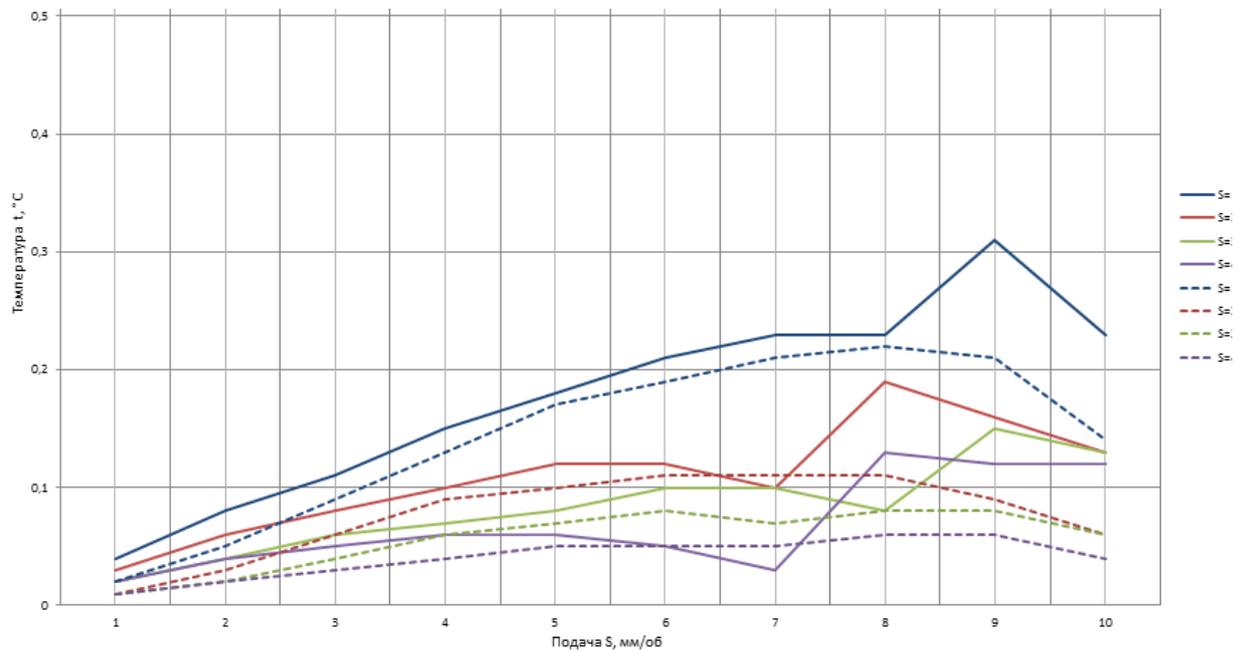
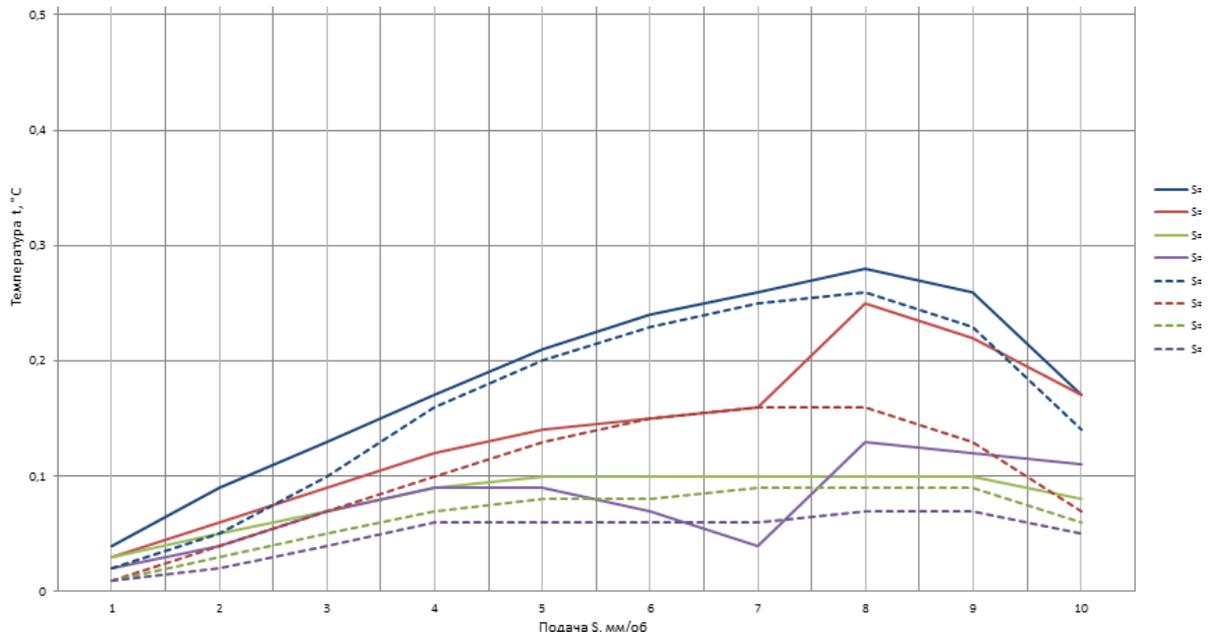


Рисунок 3 (а,б,в,г) – качественные относительные характеристики зависимости максимальных и минимальных значений приведенной температуры поверхности от приведенной скорости перемещения источника тепла и приведенной подачи

В результате анализа машинного эксперимента выявлены особые режимы обработки, удовлетворяющие максимальной температуре нагрева поверхности и стабильности ее свойств (минимальный разброс температур нагрева). Максимальная температура нагрева возникает в результате полного завершения горения термитной смеси, чему соответствует приведенная скорость  $V=1^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и приведенная подача  $S=2\text{мм}/\text{об}$ . Стабильность свойств достигается при  $V=3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ,  $S=1\text{мм}/\text{об}$ .

Полученные результаты свидетельствуют об одновременном протекании эндо- и экзотермических реакций.

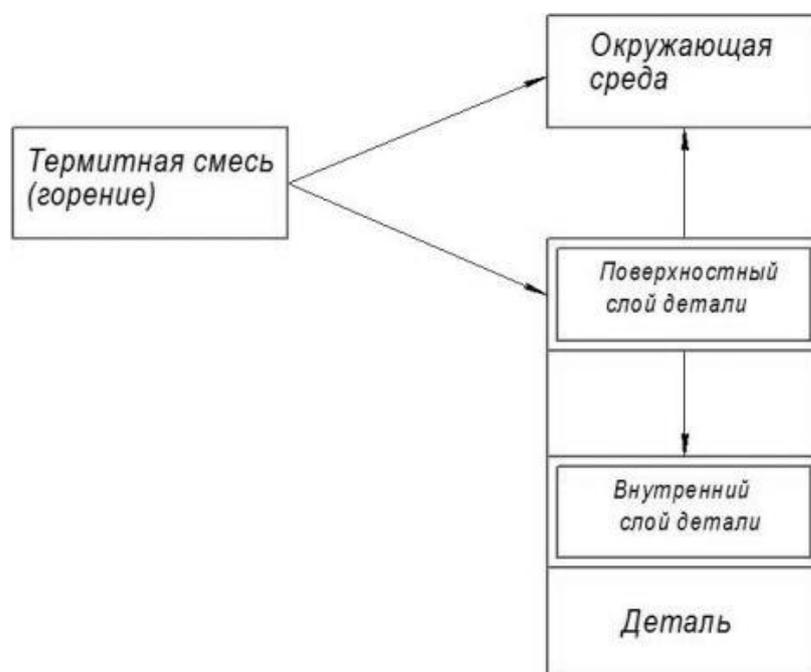


Рисунок 4 – Схема протекания эндо- и экзотермических процессов.

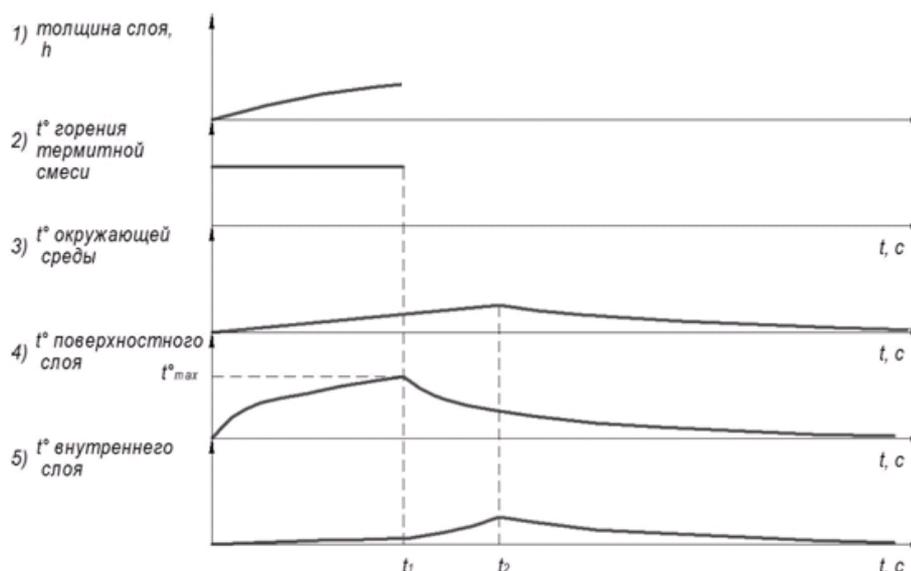


Рисунок 5 – Качественная зависимость температуры и толщины слоя от времени протекания реакции с учетом схемы рис.4.

Свойства модели, характеризующиеся условиями протекания реакции:

1. Чем больше высота термитного слоя, тем больше время ее горения.
2. Количество теплоты, полученное системой, направляется на изменение её внутренней энергии и совершение работы против внешних сил, т.е.  $A=Q$  согласно первому началу термодинамики.
3. Потери теплоты в окружающую среду.
4. Преобразование эффективной части теплоты в температуру поверхностного слоя.
5. Переход части теплоты с поверхностного слоя во внутренний, с последующим охлаждением.

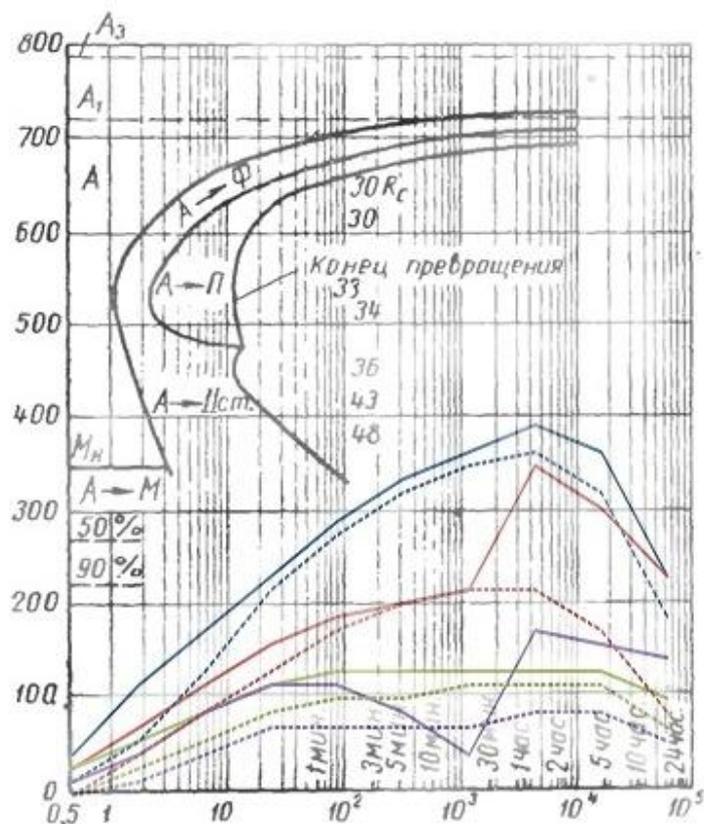


Рисунок 6 – Наложение графиков зависимости на диаграмму состояния Fe-C для стали 45.

Зная максимальную температуру горения, время ее достижения и толщину слоя, можно обеспечить необходимую микроструктуру и соответствующие прочностные характеристики поверхности детали, используя диаграмму состояния Fe-C.

**В четвертом разделе: «Методические указания к выполнению лабораторной работы»**– разработаны методические указания к выполнению работы «Упрочнение рабочей поверхности с помощью термитной смеси». Цель работы: изучить возможности достижения максимальной температуры нагрева поверхностного слоя за счет использования термитной смеси и изменения режимов обработки.

**В пятом разделе: «Технологические рекомендации»** – разработан новый технологический процесс для детали представителя «Вал-шестерня»,

заменяя термическую операцию методом упрочнения на основе применения термитных смесей.

**В шестом разделе: «Охрана труда и безопасность в чрезвычайных ситуациях»**– проанализированы опасные и вредные производственные факторы при работе пользователя ПЭВМ, разработаны мероприятия по обеспечению безопасных и комфортных условий труда. Предложенные мероприятия позволили повысить производительность труда на 10,1%.

Разработаны мероприятия, направленные на повышение устойчивости проектируемого объекта на случай взрыва жидкого пропана.

**В седьмом разделе: «Экономический анализ исследований»**– определены и рассчитаны экономические показатели. Одним из перспективных направлений в экономии материальных и энергетических ресурсов является создание менее энергоемких технологических процессов за счет прогрессивных и перспективных технологий. За счет внедрения метода поверхностного упрочнения, основанного на применении термитной смеси, достигнуто:

- снижения трудоемкости;
- экономия по переменной части накладных расходов (вследствие учета процента общепроизводственных расходов);
- экономия затрат на электроэнергию (так как процесс упрочнения на основе применения термитной смеси менее трудоемкий).

Экономический эффект составил 210 тыс. грн.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

В результате проведенных исследований решена важная научно-техническая задача – разработана методика проведения эксперимента и создана модель распространения волны горения при обработке цилиндрической поверхности вала с приведенными значениями скорости и

подачи движения температурного источника на базе использования клеточных автоматов.

Экспериментальные исследования процесса в лабораторных условиях позволяют утверждать, что:

- температура нагрева поверхностного слоя зависит от приведенной скорости и подачи перемещения теплового источника;

- время обработки увеличивается с нанесением большего количества термитной смеси;

- выявлены особые режимы обработки, удовлетворяющие максимальной температуре нагрева поверхности и стабильности ее свойств

- поверхностный слой имеет мелкозернистую структуру и не требует операций по снятию остаточных напряжений;

- возможно обеспечение необходимой микроструктуры и соответствующих прочностных характеристик поверхности детали, используя диаграмму состояния Fe-C.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИПЛОМА

Всего по теме дипломной работы опубликовано 3 работы.

1. Ковалевский С.В. Моделирование технологии обработки рабочих поверхностей деталей с применением термитных смесей. / С.В. Ковалевский, Ю.А.Хмелевая // Студенческий вестник ДГМА. - Краматорск: ДГМА, 2014.

2. Ковалевский С.В. Разработка и исследование возможности упрочнения рабочих поверхностей деталей машин на основе применения управляемых экзотермических процессов. / С.В. Ковалевский, Ю.А.Хмелевая // «Актуальні задачі сучасних технологій» збірник тез доповідей

Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів - Тернопіль: ТНТУ ім. Пулюя, 2014. – С.68.

3. Ковалевский С.В. Моделирование термической обработки деталей на основе однородных сетей / С.В. Ковалевский, Ю.А.Хмелевая //«Нейросітьові технології та їх застосування НСТиП-2014» збірник наукових праць. - Краматорск: ДГМА, 2014.