

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

---

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»  
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»  
(код и наименование направления подготовки)

---

Технология автоматизированного машиностроения  
(направленность (профиль))

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение качества обработки валов путем автоматического управления температурой при закалке

---

Обучающийся

В.В. Лукина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент Л.А. Резников

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Анализ способов динамического регулирования процесса термообработки .....	5
1.1 Анализ влияния типа стали на технологические характеристики термообработки .....	5
1.2 Анализ способов регулирования температуры в термических печах	15
1.3 Анализ способов и устройств управления нагревательной печью для металлургических изделий .....	26
Глава 2. Технологические аспекты технологических процессов термообработки валов .....	49
2.1 Патентный анализ процесса непрерывной закалки и отжига .....	49
2.2 Устройства и способы регулирования температуры при термообработке .....	56
Глава 3 Разработка перспективного процесса термообработки валов.....	70
3.1 Способ термообработки валов с использованием специальной электропечи .....	70
3.2 Мероприятия по безопасности при термообработке валов с использованием специальной электропечи.....	75
3.3 Определение экономических показателей термообработки валов с использованием специальной электропечи.....	78
Заключение.....	83
Список используемых источников.....	85

## Введение

Валы находят широкое применение в машиностроении, нефтяной и химической промышленности, в судостроении. Процесс производства таких валов является очень сложной и наукоемкой задачей, что делает их себестоимость изготовления очень высокой.

Так как валы являются частью ответственных и дорогостоящих машин и механизмов, то обеспечение качества их изготовления становится важнейшей и первостепенной задачей. Причинами, существенно снижающими качество маложестких валов, являются значительные по величине и хаотичные по направлению напряжения в материале валов, которые приводят к короблению и как следствие к выходу из строя валов и механизмов, в которые они входят.

Постоянное повышение требований к качеству, надёжности и долговечности технических изделий становится ключевой задачей современного машиностроения. Вследствие создания всё более прочных и технологичных конструкций узлов и агрегатов, в современном машиностроении происходит естественное снижение металлоёмкости продукции и, как результат, формирование значительного класса деталей: валы, оси, ходовые винты, шпиндели станков, гребные винты и т.д. Такие детали зачастую лимитируют межремонтные, межсервисные и ресурсные интервалы изделий. Производство подобных деталей в нашей стране постоянно увеличивается, что обусловлено все возрастающей потребностью в прецизионных машинах, ростом скоростей вращения технологического оборудования в нефтяной, газовой, автомобильной, судостроительной и авиационной промышленности.

Закалка стали проводится для повышения ее твердости, прочности и износостойкости. Это один из видов термической обработки, при котором металл сначала нагревается до температур, изменяющих его структурное состояние, а затем охлаждается таким образом, чтобы он приобрел

требуемый физико-химический состав и необходимую кристаллическую структуру. Существует множество способов закалки стали, приводящих к различным результатам, но все они состоят из двух основных циклов: нагрева до критической точки и охлаждения с определенной скоростью до заданной температуры.

При закалке для переохлаждения аустенита до температуры мартенситного превращения требуется быстрое охлаждение, но не во всём интервале температур, а только в пределах 650—400 °С, то есть в том интервале температур, в котором аустенит менее всего устойчив и быстрее всего превращается в ферритно-цементитную смесь. Выше 650 °С скорость превращения аустенита мала, и поэтому смесь при закалке можно охлаждать в этом интервале температур медленно, но, конечно, не настолько, чтобы началось выпадение феррита или превращение аустенита в перлит.

Поэтому, задачи разработки технологий изготовления деталей данного класса, являются актуальными задачами современного машиностроения, а поиск резервов повышения точности обработки и ее последующее сохранение – актуальной научной проблемой технологии машиностроения. Основной проблемой при изготовлении деталей типа «Вал», является релаксация внутренних остаточных напряжений. Релаксация этих напряжений уже после изготовления детали приводит к непредсказуемому короблению. Таким образом, достигнув точности в ходе техпроцесса, мы можем потерять ее уже в ходе эксплуатации.

Причем указанные трудности изготовления маложестких деталей возрастают с увеличением отношения их длины к диаметру, так как в данном случае наблюдается снижение жесткости изделий, а процессы релаксации напряжений способны оказывать все более значительное влияние на стабильность геометрической формы валов.

Тогда, цель магистерской диссертации может быть сформулирована следующим образом: повышение качества изготовления валов путем совершенствования процесса термообработки.

## **Глава 1 Анализ способов динамического регулирования процесса термообработки.**

### **1.1 Анализ влияния типа стали на технологические характеристики термообработки.**

Для определения влияния типа стали на технологические характеристики термообработки валов необходимо провести анализ современного уровня развития данного направления производства. Наиболее эффективными методами такого анализа являются литературный и патентный обзоры. [32]

Известно использование покрытых или не содержащих покрытия стальных листов для изготовления автомобилей. Для производства транспортного средства используют целый ряд групп стали. Выбор группы (типа) стали зависит от конечного применения стальной детали. Например, IF-стали (стали без свободных атомов внедрения, с небольшим количеством металлических включений) могут быть произведены для деталей, которые подвергаются воздействию внешней среды. TRIP-стали (с пластичностью, обусловленной мартенситным превращением), могут быть произведены для изготовления поперечин для сиденья и пола кузова или передних стоек кузова. DP-стали (двухфазные стали) могут быть произведены для задних рельсовых направляющих или обвязочного бруса крыши. [25]

В процессе производства указанных групп сталей осуществляют крайне необходимые процессы обработки стали, чтобы получить желаемую деталь, имеющую подходящие механические свойства для одного конкретного случая применения. Такими операциями обработки могут быть, например, непрерывный отжиг перед осаждением металлического покрытия или обработка путем закалки и разделения. В этих видах обработки важной является стадия охлаждения, поскольку микроструктура и механические свойства сталей зависят, главным образом, от произведенной обработки

охлаждением. Обычно обработку, включающую стадию охлаждения, выбирают из числа известных видов обработки, при этом вид обработки выбирают в зависимости от группы стали. [1], [6]

Однако при осуществлении этих методов на линии обработки могут проявляться некоторые незапланированные отклонения. Например, может изменяться температура в печи, толщина стального листа, скорость движения стального листа на линии термообработки. [26]

Патентный документ US 4440583 относится к способу регулируемого охлаждения стальной полосы, осуществляемому с использованием охлаждающего оборудования, содержащего множество сопел, размещенных в направлении движения полосы, при этом сопла распыляют хладагент вблизи горячей движущейся полосы, а на трубопроводе, который подает хладагент к упомянутым соплам, установлен клапан регулирования расхода. С помощью математического уравнения, в которое входит толщина полосы, начальная и конечная температуры охлаждения и необходимая скорость охлаждения, производят расчет интенсивности теплопередачи, необходимой для получения требуемой скорости охлаждения, и полученную интенсивность теплопередачи корректируют с учетом действия естественного охлаждения в двух зонах, в которых отсутствует распыление хладагента, одна из которых находится перед зоной распыления хладагента, а другая за зоной распыления. Затем определяют расход хладагента из предварительно полученного математического соотношения, в которое входит интенсивность теплопередачи, и устанавливают этот расход. Длину зоны распыления хладагента вдоль пути движения стальной полосы вычисляют, используя скорость движения полосы, начальную и конечную температуры охлаждения и необходимую скорость охлаждения. Сопла устанавливают с возможностью включения и выключения так, чтобы хладагент распылялся только из такого количества сопел, которое соответствует расчетной длине зоны распыления. Если при осуществлении регулируемого процесса охлаждения изменяется толщина полосы,

интенсивность теплопередачи вычисляют повторно, исходя из указанных выше установочных параметров, для коррекции соответствующим образом расхода хладагента. В случае изменения скорости движения полосы длину зоны распыления хладагента вычисляют повторно для коррекции порядка включения-выключения сопел. [2], [3], [4], [27]

В этом способе при проявлении отклонения в процессе охлаждения интенсивность теплопередачи или длину зоны распыления хладагента вычисляют повторно для коррекции выявленного отклонения. Известный способ не учитывает характеристики стального листа, включающие химический состав, микроструктуру, свойства, текстуру поверхности и т.д. Следовательно, существует нежелательная ситуация применения одинаковой коррекции к любому типу листовой стали, даже если каждая листовая сталь имеет свои собственные характеристики. Рассмотренный способ не обеспечивает индивидуальное регулируемое охлаждение различных видов стали.

Соответственно, такая коррекция не приспособлена к одной конкретной стали и, следовательно, в конце термообработки требуемые свойства не получают. Кроме того, после обработки сталь может иметь большой разброс значений механических свойств.

Наконец, даже если может быть произведена широкая номенклатура видов стали, качество обработанной стали является низким.

В связи с изложенным, задача заключается в устранении отмеченных выше недостатков за счет обеспечения способа динамического регулирования при производстве термообработанной листовой стали, имеющей определенный химический состав стали и определенную микроструктуру  $m_{\text{target}}$ , получаемую на линии термообработки. В частности, задача заключается в регулировании обработки охлаждением, производимом непосредственно на линии обработки (в режиме онлайн), с обеспечением обработки, приспособленной к каждому стальному листу, причем такую обработку рассчитывают очень точно и в самый короткий промежуток

времени для получения стального листа с ожидаемыми свойствами, которые имеют минимальный возможный разброс величин. [5]

Ниже даны определения следующим обозначениям:

- $CC$ : химический состав в процентах, в массовых процентах,
- $m_{target}$ : заданная целевая микроструктура,
- $m_{standard}$ : микроструктура выбранного продукта,
- $R_{target}$ : заданная величина механического свойства,
- $m_i$ : начальная микроструктура листовой стали,
- $X$ : доля фазы в массовых процентах,
- $T$ : температура в градусах Цельсия ( $^{\circ}C$ ),
- $t$ : время (с),
- $s$ : секунды,
- $UTS$ : предел прочности (МПа),
- $YS$ : предел текучести (МПа),
- металлическое покрытие на основе цинка означает металлическое покрытие, содержащее более 50% цинка,
- металлическое покрытие на основе алюминия означает металлическое покрытие, содержащее более 50% алюминия, и
- $TT$ : термообработка и тепловой режим,  $TT$ ,  $TR_{target}$  и  $TR_x$ , включает время, температуру термообработки и по меньшей мере одну скорость, выбранную из скорости охлаждения, скорости нагревания или быстроты протекания изотермической выдержки,
- режим нагревания включает время, температуру и скорость нагревания,
- режим выдержки включает время, температуру и быстроту протекания выдержки,
- $CR_x$  и  $CR_{xint}$  включают время, температуру и скорость охлаждения, и



- нанофлюиды: текучая среда, содержащая наночастицы.

На приведенных ниже рисунках 1-4 показана алгоритмика проведения различных типов отжигов и характер изменения температуры. [30], [31]

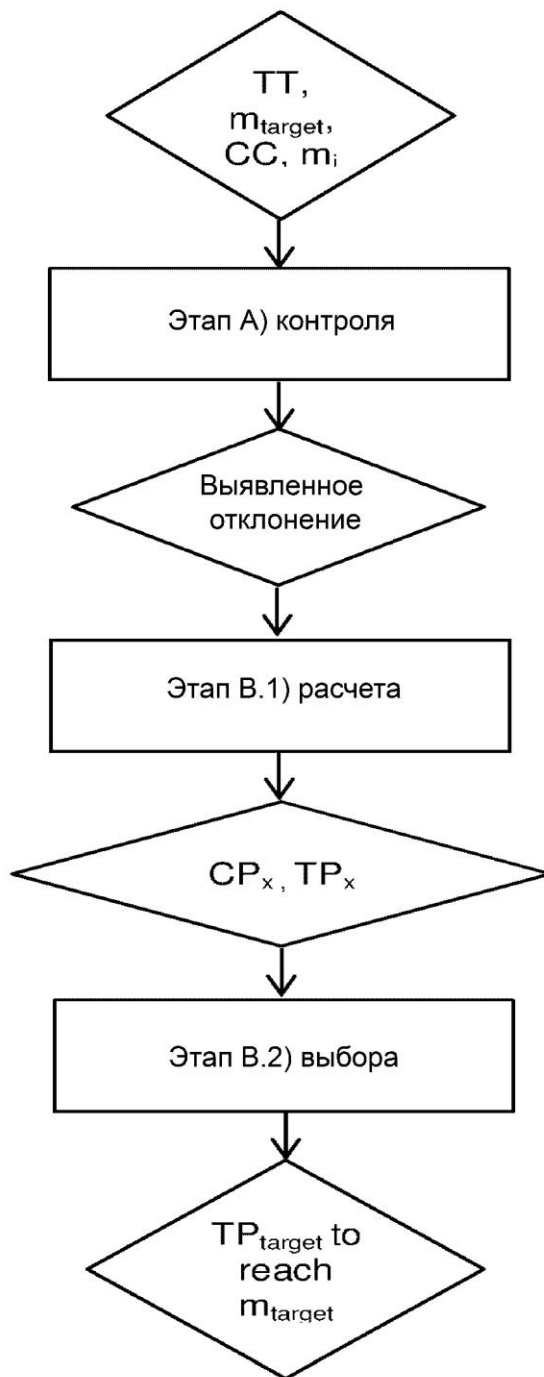


Рисунок 1 – Алгоритм непрерывного отжига, включающего стадию нагревания, стадию выдержки стали, стадию охлаждения и стадию перестаривания

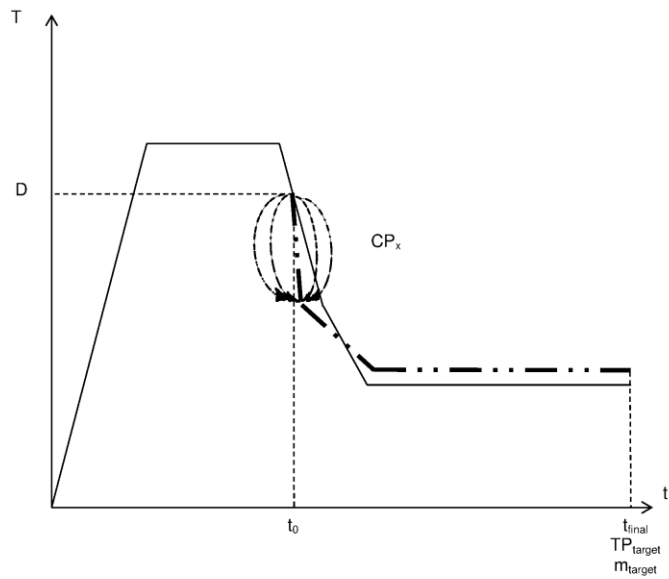


Рисунок 2 – Регулировка температуры непрерывного отжига, включающего стадию нагрева, стадию выдержки стали, стадию охлаждения и стадию перестаривания

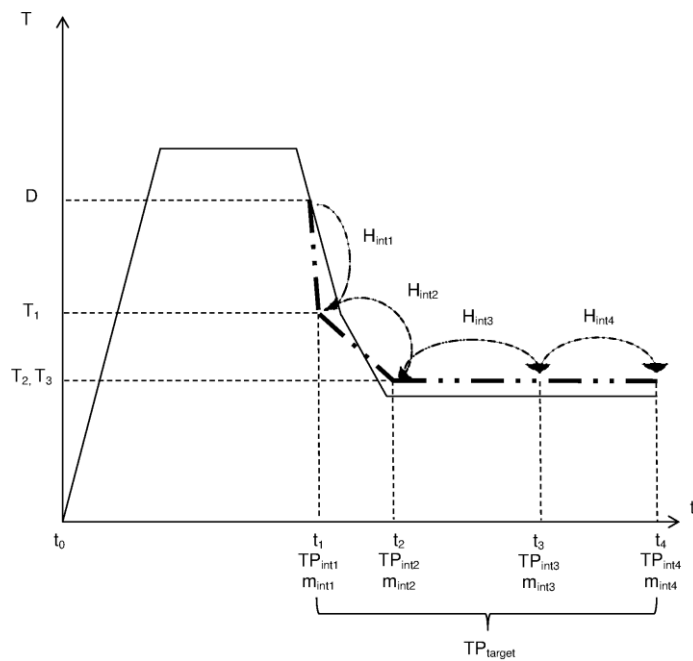


Рисунок 3 – Регулировка температуры проведения отжига, в котором осуществляют непрерывный отжиг стального листа перед осаждением покрытия погружением в горячий расплав

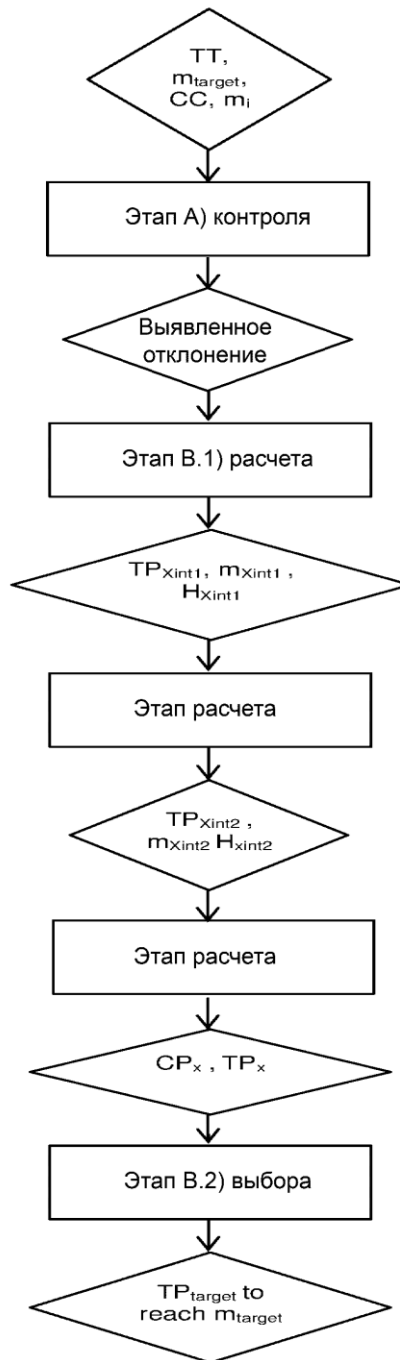


Рисунок 4 – Алгоритм проведения отжига, в котором осуществляют непрерывный отжиг стального листа перед осаждением покрытия погружением в горячий расплав

Название «сталь» или «листовая сталь» означает стальной лист, рулон, толстый стальной лист, имеющий состав стали, позволяющий получить

деталь с пределом прочности вплоть до 2500 МПа и более предпочтительно до 2000 МПа.

Например, предел прочности составляет 500 МПа или более, предпочтительно составляет 1000 МПа или более, подходящий предел прочности - 1500 МПа или более. Используется широкий диапазон химического состава, поскольку способ в соответствии с изобретением может быть применен к любой марке стали.

Способ динамического регулирования процесса производства термообработанного стального листа, имеющего химический состав стали и микроструктуру  $m_{\text{target}}$ , содержащую от 0 до 100% по меньшей мере одной фазы из феррита, мартенсита, бейнита, перлита, цементита и аустенита, на линии термообработки, содержащей участок нагревания, участок выдержки и участок охлаждения, оборудованный системой охлаждения, причем осуществляется предварительно заданная термообработка ТТ, включающая по меньшей мере стадии нагревания, выдержки и охлаждения, при этом способ включает:

А. этап контроля, на котором по меньшей мере один датчик регистрирует любое отклонение, происходящее в процессе термообработки ТТ,

В. этап расчета, осуществляемый при выявлении отклонения в процессе ТТ, в результате чего определяют новый тепловой режим  $TR_{\text{target}}$  для получения  $m_{\text{target}}$  с учетом выявленного отклонения, при этом указанный этап расчета включает:

1) подэтап расчета, на котором путем варьирования охлаждающей способности производят расчет новых режимов охлаждения  $CR_x$ , исходя из процесса термообработки ТТ и начальной микроструктуры  $m_x$  листовой стали для получения  $m_{\text{target}}$ , режима нагревания и режима выдержки, включающих  $T_{\text{soaking}}$  и  $T_{\text{cooling}}$ , при этом стадию охлаждения ТТ рассчитывают повторно, используя указанные  $CR_x$ , для установления новых тепловых режимов  $TR_x$ , каждый из которых соответствует микроструктуре  $m_x$ ,

2) этап выбора, на котором выбирают один тепловой режим  $TR_{target}$  для получения микроструктуры  $m_{target}$ , при этом  $TR_{target}$  выбирают из расчетных тепловых режимов  $TR_x$  так, чтобы микроструктура  $m_x$  была почти такая же, как и  $m_{target}$  и С. этап новой термообработки, на котором  $TR_{target}$  реализуется на стальном листе, находящемся на линии термообработки.

Безотносительно к какой-либо теории представляется, что при использовании способа в соответствии с настоящим изобретением можно корректировать любое отклонение, возникающее в процессе термообработки, за счет обеспечения индивидуальной термообработки, включающей индивидуальный режим охлаждения, который зависит от каждого обрабатываемого стального листа. Таким образом, рассчитывают новый конкретный тепловой режим  $TR_{target}$  за короткий период времени расчета, учитывая  $m_{target}$ , в частности, доли всех фаз в режиме охлаждения,  $m_i$  (включая дисперсию микроструктуры вдоль стального листа) и отклонение.

Следует отметить, что способ в соответствии с настоящим изобретением принимает во внимание расчет термодинамически стабильных фаз, т.е. феррита, аустенита, цементита и перлита, и термодинамически метастабильных фаз, т.е. бейнита и мартенсита. В результате может быть получен стальной лист, имеющий ожидаемые свойства с минимумом дисперсии свойств.

Предпочтительно, микроструктуры  $m_x$ ,  $m_{target}$  и  $m_i$  фаз определены по меньшей мере одним из параметров, выбранный из: размер, форма и химический состав. Предпочтительно ТТ дополнительно включает стадию предварительного нагревания. Более предпочтительно ТТ дополнительно включает стадию нанесения покрытия методом погружения в расплав, стадию перестаривания или стадию разделения. [28], [29]

Предпочтительно целевая микроструктура  $m_{target}$  включает:

- 100% аустенита,
- от 5 до 95% мартенсита, от 4 до 65% бейнита, остальное - феррит,

- от 8 до 30% остаточного аустенита, от 0,6 до 1,5% углерода в твердом растворе, остальное - феррит, мартенсит, бейнит, перлит и/или цементит,
- от 1 до 30% феррита и от 1 до 30% бейнита, от 5 до 25% аустенита, остальное - мартенсит,
- от 5 до 20% остаточного аустенита, остальное - мартенсит,
- феррит и остаточный аустенит,
- остаточный аустенит и интерметаллические фазы,
- от 80 до 100% мартенсита и от 0 до 20% остаточного аустенита,
- 100% мартенсита,
- от 5 до 100% перлита и от 0 до 95% феррита и по меньшей мере, 75% равноосного феррита, от 5 до 20% мартенсита и бейнит в количестве, соответствующем 10% или менее.

Листовая сталь может быть любого типа из следующих сталей: DP-сталь (двухфазная сталь), TRIP - сталь (сталь с пластичностью, обусловленной мартенситным превращением), Q&P-сталь (подвергнутая термической обработке, включающей закалку и стадию разделения (с перераспределением углерода)), TWIP-сталь (с пластичностью, обусловленной двойникованием), CFB-сталь (с безуглеродистой бейнитной структурой), PHS-сталь (закаленная под прессом), TRIPLEX-сталь, DUPLEX-сталь и DP HD-сталь (двухфазная сталь с высокой пластичностью).

Химический состав зависит от каждой листовой стали. Например, химический состав DP-стали может включать:

$$0,05 < C < 0,3\%,$$

$$0,5 \leq Mn < 3,0\%,$$

$$S \leq 0,008\%,$$

$$P \leq 0,080\%,$$

$$N \leq 0,1\%,$$

$$Si \leq 1,0\%,$$

остальное - железо и неизбежные примеси в результате этой обработки.

На рисунке 1 приведен алгоритм термообработки ТТ стали, находящейся на линии термообработки, и такая листовая сталь должна иметь химический состав СС и микроструктуру  $m_{target}$ .

В соответствии с настоящим изобретением на этапе А) выявляется любое возникшее во время термообработки отклонение. Предпочтительно отклонение обусловлено изменением технологического параметра, выбранного из температуры печи, температуры листовой стали, количества газа, состава газа, температуры газа, скорости движения листа стали вдоль технологической линии. Нарушением работы линии термообработки, изменением в ванне для нанесения покрытия, осуществляемого путем погружения в расплав, изменением излучательной способности листовой стали и изменением толщины стального листа. [17], [24]

## **1.2 Анализ способов регулирования температуры в термических печах.**

Температурой печи может быть температура нагревания, температура выдержки, температура охлаждения и температура перестаривания стали. Температура листовой стали может быть измерена в любой момент времени термообработки в различных местах линии термообработки, например:

- на участке нагревания, на котором предпочтительно размещена пламенная

нагревательная печь (DFF), радиационная трубчатая печь (RTF), электрическая печь сопротивления или индукционная печь,

- на участке охлаждения, в частности, при струйном охлаждении, в системе водяного охлаждения или в носке печи (перед ванной для покрытия),

- на изотермическом участке, на котором предпочтительно находится электрическая печь сопротивления. [18], [20]

Для выявления изменения температуры в качестве детектора может быть использован пирометр или сканирующее устройство.

Обычно процессы термообработки могут осуществляться в окислительной атмосфере, т.е. в атмосфере, содержащей окисляющий газ, например,  $O_2$ ,  $CO_2$  или  $CO$ . Они также могут быть выполнены в нейтральной атмосфере, то есть в атмосфере, содержащей нейтральный газ, например:  $N_2$ ,  $Ar$ ,  $He$  или  $Xe$ . Эти процессы могут также осуществляться в восстановительной атмосфере, т.е. в атмосфере, содержащей восстановительный газ, например,  $H_2$  или  $HN_x$ . [22]

Изменение количества газа может быть зарегистрировано барометром. Скорость движения стального листа на технологической линии может быть определена с помощью лазерного детектора. [21], [23]

Например, нарушениями функционирования линии термической обработки могут быть нарушения:

- в пламенной нагревательной печи: совсем не работает горелка,
- в радиационной трубчатой печи: не работает радиационная труба,
- в электрической печи: не работает электрический нагревательный элемент,
- на участке охлаждения: не функционирует некоторое количество охлаждающих струй.

В таких случаях в качестве детектора может быть использован пирометр, барометр, потребление электричества (счетчик электроэнергии) или фотографическая камера.

Изменение толщины листа стали может быть выявлено с помощью лазера или ультразвукового датчика. [55]

Если обнаружено отклонение, то путем варьирования охлаждающей способности с помощью расчета определяют новые режимы охлаждения на основе  $T_T$  и  $m_i$  для получения  $m_{target}$ , при этом производят повторный расчет режима нагревания, режима выдержки стали, включающих  $T_{soaking}$  и  $T_{cooling}$ , и стадии охлаждения  $T_T$  с использованием упомянутой  $CP_x$  для получения новых режимов  $TR_x$ , при этом каждый режим  $TR_x$  соответствует микроструктуре  $m_x$ . Вычисление  $CP_x$  в основано на тепловых и



металлургических характеристиках листовой стали, в отличие от традиционных способов, в которых принимаются во внимание только тепловые характеристики. [57]

На рисунке 2 представлен процесс непрерывного отжига листовой стали, включающий стадию нагревания, стадию выдержки, стадию охлаждения и стадию перестаривания.

Регистрируют отклонение  $D$  вследствие изменения величины  $T_{\text{soaking}}$ . В этой связи производят расчет режима  $CP_x$  и, следовательно, определяют  $TR_x$  так, что  $TR_{\text{standard}}$ , который выбирают из  $TR_x$ , обеспечивает получение микроструктуры  $m_{\text{target}}$ , причем, как показано, только для первой стадии охлаждения на рисунке 2. В этом примере полученный путем расчета режим  $CP_x$  включает также вторую стадию охлаждения (не показано).

Предпочтительно на стадии В.1) охлаждающая способность системы охлаждения изменяется от минимума до максимальной величины или от максимума до минимальной величины. Например, система охлаждения использует по меньшей мере одну охлаждающую струю по меньшей мере один охлаждающий душ или по меньшей мере оба средства охлаждения. Предпочтительно система охлаждения включает по меньшей мере одну струю охлаждения, при этом охлаждающая струя распыляет текучую среду, которая представляет собой газ, водосодержащую жидкость или их смесь.

Например, газ выбирают из воздуха,  $HN_x$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Ar$ ,  $He$ , водяного пара или смеси указанных газов. Водосодержащую жидкость выбирают, например, из воды или нанофлюидов. Предпочтительно охлаждающие струи распыляют газ с расходом в интервале от 0 до 350000  $\text{Нм}^3/\text{час}$ . Количество струй охлаждения, распыляемых на участке охлаждения, зависит от линии термообработки и может изменяться в пределах от 1 до 25, предпочтительно от 1 до 20, выгодно от 1 до 15 и более предпочтительно от 1 до 5. [59]

Расход зависит от количества струй охлаждения. Например, расход одной охлаждающей струи находится в интервале от 0 до 50000  $\text{Нм}^3/\text{час}$ ,

предпочтительно от 0 до 40000 Нм<sup>3</sup>/час и более предпочтительно от 0 до 20000 Нм<sup>3</sup>/час. [56]

В случае использования на участке охлаждения охлаждающих струй изменение охлаждающей способности основано на изменении расхода. Например, для одной охлаждающей струи 0 Нм<sup>3</sup>/час соответствует 0% охлаждающей способности, а расход 40000 Нм<sup>3</sup>/час соответствует 100% охлаждающей способности.

Таким образом, например, охлаждающая способность одной охлаждающей струи изменяется от 0 Нм<sup>3</sup>/час, т.е. от 0%, до 40000 Нм<sup>3</sup>/час, т.е. до 100%. Минимальная и максимальная охлаждающая способности могут иметь любую величину в интервале от 0 до 100%.

Например, минимальная величина составляет 0%, 10%, 15% или 25%. Максимальная величина, например, составляет 80%, 85%, 90% или 100%. Если участок охлаждения содержит по меньшей мере 2 охлаждающие струи, охлаждающая способность каждой охлаждающей струи может быть одинаковой или различной. Это означает, что каждая охлаждающая струя может быть сформирована и настроена независимо одна от другой. Например, если участок охлаждения использует 11 охлаждающих струй, охлаждающая способность трех первых охлаждающих струй может составлять 100%, охлаждающая способность следующих четырех струй может составлять 45%, и охлаждающая способность последних четырех может составлять 0%. [58]

Например, изменение охлаждающей способности может происходить с приращением в интервале от 5 до 50%, предпочтительно от 5 до 40%, более предпочтительно от 5 до 30%, выгодно - от 5 до 20%. Приращение охлаждающей способности составляет, например, 10%, 15% или 25%. Если участок охлаждения содержит по меньшей мере 2 охлаждающие струи, приращение охлаждающей способности каждой охлаждающей струи может быть одинаковым или различным. Например, на стадии В.1) приращение охлаждающей способности для всех охлаждающих струй может составлять

5%. В другом воплощении приращение охлаждающей способности может составлять 5% для трех первых струй, 20% для следующих четырех струй и 15% для последних четырех струй. Предпочтительно приращение охлаждающей способности для каждой охлаждающей струи является различным, например, 5% для первой струи, 20% для второй струи, 0% для третьей струи, 10% для четвертой струи, 0% для пятой струи, 35% для шестой струи и т.д. [7], [12]

В предпочтительном воплощении системы охлаждения настроены в зависимости от фазового превращения и независимо одна от другой. Например, если система охлаждения использует 11 охлаждающих струй, охлаждающая способность трех первых охлаждающих струй может быть приспособлена для определенного фазового превращения, охлаждающая способность следующих четырех может быть приспособлена для превращения аустенита в перлит, а охлаждающая способность последних четырех может быть приспособлена для превращения аустенита в бейнит.

В другом воплощении приращение охлаждающей способности для каждой охлаждающей струи может быть различным. Предпочтительно на стадии В.1)  $T_{\text{soaking}}$  является заданной величиной, находящейся в интервале от 600 до 1000°C. Например, величина  $T_{\text{soaking}}$  может составлять 700°C, 800°C, или 900°C, в зависимости от обрабатываемой листовой стали. [8], [10]

В другом предпочтительном воплощении величина  $T_{\text{soaking}}$  изменяется в интервале от 600°C до 1000°C. Например, величина  $T_{\text{soaking}}$  в зависимости от типа листовой стали может составлять от 650°C до 750°C, или от 800°C до 900°C.

В том случае, если величина  $T_{\text{soaking}}$  изменяется после проведения стадии В.1), осуществляют субэтап дополнительного вычисления, на котором:

а.  $T_{\text{soaking}}$  варьируется в предварительно заданном интервале величин от 600 до 1000°C.

б. для каждой измененной величины  $T_{\text{soaking}}$  рассчитывают новые режимы  $CP_x$  охлаждения, исходя из  $T_T$  и  $m_i$ , для получения  $m_{\text{standard}}$  и  $T_{\text{cooling}}$ , при этом стадию охлаждения  $T_T$  рассчитывают повторно, используя указанные  $CP_x$  для определения новых тепловых режимов  $TR_x$ , при этом каждый режим  $TR_x$  соответствует микроструктуре  $m_x$ . [11]

При использовании способа в соответствии с настоящим изобретением для расчета режима  $CP_x$  принимается во внимание изменение  $T_{\text{soaking}}$ . В результате для каждой температуры выдержки определяют множество новых режимов  $CP_x$  охлаждения и, следовательно, новых тепловых режимов  $TR_x$ .

Предпочтительно рассчитывают по меньшей мере 10  $CP_x$ , более предпочтительно по меньшей мере 50, приемлемо по меньшей мере 100 и более предпочтительно по меньшей мере 1000. Например, количество полученных расчетом режимов  $CP_x$  находится в интервале от 2 до 10000, предпочтительно от 100 до 10000, более предпочтительно от 1000 до 10000.

На этапе В.2) выбирают один режим  $TR_{\text{target}}$  для получения  $m_{\text{target}}$ , при этом  $TR_{\text{target}}$  выбирают из  $TR_x$ , причем выбирают так, что микроструктура  $m_x$  приближается к  $m_{\text{target}}$  в максимальной степени. Предпочтительно, разность между долями фаз, присутствующих в  $m_{\text{target}}$  и  $m_x$ , составляет  $\pm 3\%$ .

На этапе В.2) предпочтительно, если по меньшей мере двум  $CP_x$  соответствуют одинаковые  $m_x$ , и выбранный режим  $TR_{\text{target}}$  имеет минимальную охлаждающую способность, которая является допустимой. В случае изменения  $T_{\text{soaking}}$  выгодно, если выбранный режим  $TR_{\text{target}}$  для получения  $m_{\text{target}}$  дополнительно включает величину  $T_{\text{soaking}}$ , при этом  $TR_{\text{target}}$  выбирают из числа  $TR_x$ .

На этапе В.2) энтальпию  $H_{\text{released}}$ , выделившуюся в промежутке между структурами  $m_i$  и  $m_{\text{target}}$ , предпочтительно рассчитывают так, что:

$$H_{\text{released}} = (X_{\text{ferrite}} + H_{\text{ferrite}}) + (X_{\text{martensite}} + H_{\text{martensite}}) + (X_{\text{bainite}} + H_{\text{bainite}}) + (X_{\text{pearlite}} + H_{\text{pearlite}}) + (H_{\text{cementite}} + X_{\text{cementite}}) + (H_{\text{austenite}} + X_{\text{austenite}}) X - \text{доля фазы.}$$

Без привязки к какой-либо теории следует отметить, что  $H$  представляет собой энергию, которая выделяется при фазовом превращении

на протяжении всего теплового цикла. Считают, что некоторые фазовые превращения являются экзотермическими и некоторые - эндотермическими. Например, превращение феррита в аустенит в режиме нагревания является эндотермическим процессом, в то время как превращение аустенита в перлит в режиме охлаждения - экзотермический процесс. [9]

Предпочтительно на этапе В.2) путем расчета определяют по меньшей мере одну промежуточную микроструктуру  $m_{xint}$  стали, соответствующую промежуточным тепловому режиму  $CP_{xint}$  и энтальпии  $H_{xint}$ . В этом случае  $CP_x$  определяют путем расчета большого числа  $CP_{xint}$ . Таким образом, предпочтительно  $CP_x$  представляет собой общий итог расчета всех  $CP_{xint}$ , а  $H_{released}$  - итоговая величина всех  $H_{xint}$ . В этом предпочтительном воплощении периодически производят расчет режима  $CP_{xint}$ .

Например, этот режим рассчитывают каждые 0,5 секунды, предпочтительно каждые 0,1 секунды или менее. На рисунке 4 показано предпочтительное воплощение, в котором на этапе В.1), производят расчет  $mint1$  и  $mint2$  и соответствующих режимов  $CP_{xint1}$  и  $CP_{xint2}$ , а также  $H_{xint1}$  и  $H_{xint2}$ . При этом для расчета  $CP_x$  определяют величину  $H_{released}$  при осуществлении всего теплового цикла. В рассматриваемом воплощении для определения  $CP_x$  рассчитывают большое количество (т.е. более 2)  $CP_{xint}$ ,  $m_{xint}$  и  $H_{xint}$  (не показано).

В предпочтительном воплощении перед проведением этапа А.1) выбирают по меньшей мере одно заданное механическое свойство  $P_{target}$  из предела текучести  $YS$ , предела прочности  $UTS$ , относительного удлинения при разрыве, раздачи отверстия и способности к деформации. В этом варианте предпочтительно, чтобы  $m_{target}$  рассчитывалось на основе  $P_{target}$ .

Безотносительно к какой-либо теории предполагается, что указанные заданные характеристики листовой стали определяются технологическими параметрами, применяемыми в процессе производства стали. В связи с этим на этапе В.1) при расчете  $CP_x$  принимаются во внимание технологические параметры, примененные к листовой стали перед поступлением на линию

термообработки. Например, технологические параметры включают по меньшей мере один, выбранный из степени обжатия при холодной прокатке, температуры сматывания полосы в рулон, режима охлаждения выпускного рольганга, температуры охлаждения и скорости охлаждения рулона.

В другом воплощении при расчете  $CP_x$  принимаются во внимание технологические параметры, которые будут применены при обработке листовой стали на линии термообработки. Например, указанные технологические параметры включают по меньшей мере один из скорости движения стального листа на линии, расчетной температуры горячей листовой стали, нагревательной способности участков нагревания, температуры нагревания и температуры выдержки, охлаждающей способности участков охлаждения, температуры охлаждения и температуры перестаривания. [33], [38]

Предпочтительно  $T_{cooling}$  представляет собой температуру ванны, если после участка охлаждения расположен участок нанесения покрытия методом погружения в расплав. Предпочтительно ванна заполнена расплавом на основе алюминия или цинка. В предпочтительном воплощении ванна на основе алюминия содержит менее 15% Si, менее 5,0% Fe, при необходимости от 0,1 до 8,0% Mg и от 0,1 to 30,0% Zn, остальное - Al.

В другом предпочтительном воплощении ванна на основе цинка содержит 0,01-8,0% Al, при необходимости 0,2-8,0% Mg, остальное - Zn. Ванна с расплавом может также содержать используемые по усмотрению добавочные примеси и остаточные элементы от питающих слитков или в результате прохождения листовой стали через ванну с расплавом. Например, добавочные примеси выбирают из Sr, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Zr или Bi, при этом массовое содержание каждого дополнительного элемента составляет менее 0,3 мас. %. Остаточным элементом от питающих слитков или вследствие нахождения листовой стали в ванне с расплавом может быть железо с содержанием до 5,0 мас.%, предпочтительно 3,0 мас.%.

В другом предпочтительном воплощении  $T_{cooling}$  представляет собой температуру закалки  $T_q$ . Конечно, для листовой Q&P-стали важной температурой обработки путем закалки и разделения является температура  $T_q$ . Предпочтительно  $T_{cooling}$  находится в интервале от 150 до 800°C.

Каждый раз, когда на линию термообработки поступает новый стальной лист, автоматически осуществляется новый этап В.2) расчета. При этом способ в соответствии с настоящим изобретением позволяет приводить режим охлаждения в соответствие с каждым стальным листом, даже если на линию термообработки поступает одинаковый тип стали, поскольку действительные характеристики каждого типа стали во многих случаях отличаются. Новый стальной лист может быть подвергнут контролю, при этом измеряют и предварительно выбирают новые характеристики стального листа. Например, датчик контролирует качество сварного соединения между двумя рулонами. [34], [37]

Предпочтительно при поступлении стального листа на линию термообработки адаптация теплового режима осуществляется на первых метрах листа для того, чтобы избежать значительного изменения технологического процесса. Предпочтительно во время термической обработки производится автоматический расчет, чтобы проверить, возникло ли какое-либо отклонение. В рассматриваемом воплощении расчет периодически проводят, чтобы проверить, появилось или нет небольшое отклонение. В этой связи следует отметить, что порог чувствительности детектора иногда слишком высокий, и, следовательно, незначительное отклонение не всегда обнаруживается. Автоматический расчет, осуществляемый, например, каждые несколько секунд, не основан на пределе чувствительности детектора. Поэтому, если расчет показывает необходимость проведения такой же термической обработки, осуществляемой на линии обработки, термообработка ТТ не будет изменена. Если расчет указывает на проведение иной обработки вследствие появления незначительного отклонения, режим обработки изменяется.

На рисунке 3 показан пример, в котором осуществляют непрерывный отжиг стального листа перед осаждением покрытия путем погружения в расплав. При использовании способа в соответствии с настоящим изобретением, если проявляется отклонение  $D$ , посредством расчета определяют режим  $TR_x$ , исходя из  $m_i$ , выбранного продукта,  $TT$  и  $m_{target}$ . В рассматриваемом примере производят расчеты промежуточных тепловых режимов от  $CP_{xint1}$  до  $CP_{xint4}$ , соответствующих микроструктурам от  $m_{xint1}$  до  $m_{xint4}$ , и энтальпиям от  $H_{xint1}$  до  $H_{xint4}$ , и определяют  $H_{released}$  для получения режима  $CP_x$  и, следовательно,  $TR_x$ . На рисунке 3 иллюстрируется режим  $TR_{target}$ .

При использовании способа, если появилось отклонение, осуществляют новую стадию режима  $TR_{target}$  термообработки стального листа. [35], [36]

В результате производят рулон листовой стали, относящейся к указанным выше типам стали, а именно, DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DUPLEX и DP HD. При этом полученный рулон характеризуется стандартным отклонением механических свойств между двумя любыми точками вдоль рулона, составляющим 25 МПа или менее, предпочтительно 15 МПа или менее, более предпочтительно 9 МПа или менее. В этой связи, безотносительно к какой-либо теории, можно полагать, что способ, включающий этап В.1) расчета, учитывает дисперсию микроструктуры стального листа вдоль рулона.

Таким образом, примененный к листовой стали режим  $TR_{target}$  обеспечивает однородность микроструктуры и, кроме того, механических свойств. Предпочтительно механические свойства выбирают из предела текучести  $YS$ , предела прочности  $UTS$  или относительного удлинения при разрыве. Низкая величина стандартного отклонения обусловлена точностью расчетного режима  $TR_{target}$ . Предпочтительно рулон покрывают металлическим покрытием на основе цинка или на основе алюминия.



Предпочтительно в промышленном производстве стандартное отклонение механических свойств между двумя рулонами, изготовленными из листовой стали, относящейся к указанным выше типам стали, составляет 25 МПа или менее, предпочтительно 15 МПа или менее, более предпочтительно 9 МПа или менее. [13], [16]

Например, линия термообработки содержит печь непрерывного отжига, печь для закалки под прессом, камерную печь для отжига или линию закалки.

Данный способ относится, наконец, к компьютерному программному продукту, содержащему, по меньшей мере, металлургический модуль, модуль оптимизации и тепловой модуль, которые взаимодействуют для определения режима  $TR_{target}$ , при этом модули содержат команды, которые затем реализуются посредством компьютера, осуществляя способ в соответствии с настоящим изобретением.

Металлургический модуль прогнозирует микроструктуру ( $m_x$ ,  $m_{target}$ , включая метастабильные фазы: бейнит и мартенсит, и стабильные фазы: феррит, аустенит, цементит и перлит), точнее говоря, доли фаз вдоль всей линии термообработки и прогнозирует кинетику превращения фаз.

Тепловой модуль прогнозирует температуру листовой стали в зависимости от оборудования, используемого для термообработки (представляющего собой, например, печь непрерывного отжига), геометрических характеристик полосы и параметров технологического процесса, включающих охлаждающую способность, нагревательную способность, режим изотермической выдержки, а также энтальпию  $H$ , отведенную или затраченную в тепловом режиме при фазовых превращениях. [14], [15]

Модуль оптимизации определяет наилучший тепловой режим для получения микроструктуры  $m_{target}$ , т.е. режим  $TR_{target}$  согласно способу, соответствующему настоящему изобретению, используя при этом металлургический и тепловой модули.

### **1.3 Анализ способов и устройств управления нагревательной печью для металлургических изделий.**

Способы и устройства управления нагревательной печью для металлургических изделий задают их обработки. Устройство и способ позволяют количественно определять потери на полное воспламенение, связанные с нагреванием изделия в печи, путем определения количества окалина, которая осажается в печи, и окалина, которая осажается в окалиноломателе. Они также позволяют определять количество окалина, которая остается захваченной в изделие на выходе из окалиноломателя.

Это количественное определение осуществляют посредством электромагнитных датчиков, разрешение которых позволяет с точностью по толщине измерять окалину. [39], [54]

В ходе нагрева такого металлургического промежуточного изделия, как слиток, блюмс или плоские слитки в печи для термообработки на открытом огне, изделие окисляется на поверхности. Количество, типы и качество образованных оксидов зависят от природы сталей, химического состава дымов, достигнутых температур, продолжительности пребывания изделия в различных зонах печи, различных температур в печи и кривой нагрева изделия на протяжении его перемещения по печи. В соответствии со значениями этих различных параметров, окалина, которая образуется на поверхности изделия, в большей или меньшей мере играет важную роль, с точки зрения ее количества, качества и состава.

Полученная окалина, например, содержащая 0,5-1 мас.%, приводит к потере материала; ее удаляют перед введением в прокатный стан, и она, таким образом, не преобразуется в конечное изделие (проволока, профилированный или листовой материал), что приводит к экономическому ущербу для эксплуатации установки.

Нагрев части расходуемой стали в форме окалина порождает потерю энергии, снижение общего выхода установки и повышение себестоимости

конечного изделия. Полученная окалина может отламываться в печи в ходе перемещения изделий во время их нагрева. Накопление окалины в зонах, где она отламывается, может создать отложения, которые препятствуют функционированию даже печи и требуют ее остановки для очистки. Это время простоя порождает производственные потери установки, и снижают ее среднегодовую рентабельность. [43], [53]

Окалина, которая образовалась на поверхности изделия, должна быть удалена перед прокаткой, как правило, в окалиноломателе, выпускающем струи воды под высоким давлением на поверхность изделия, для отламывания окалины под действием термического удара и механического воздействия потоков выбрасываемой воды. Окалина, которая образовалась на поверхности изделия, может оставаться прилипшей, т.е. не отламываться от этой поверхности, ни в печи, ни в окалиноломателе, и сопровождать изделие на различных стадиях прокатки. Эта ситуация может приводить к поверхностным дефектам конечного изделия, или также вызывать повреждения роликов на различных стадиях прокатки или кожухов этих роликов.

Также предполагается, что на способ нагрева линии прокатки металлургических изделий сильно влияет образование окалины, которая может оказывать непосредственное влияние на качество конечного изделия, и/или оказывает сильное влияние на производительность печи, на ее потребление и на продолжительность работы между двумя отключениями для технического обслуживания. [45], [48]

Эта ситуация может стать особо сложной для печей типа печей для плоских изделий, которые нагревают большие количества изделия, с различными размерами и составами сталей, которые обрабатывают согласно кривым нагрева или настройкам идентичных печей, что повышает количества полученной окалины и ухудшает тепловой и экономический баланс печи и комплекта линии прокатки.

Количество полученной окалины зависит от типа нагрева, осуществляемого в печи. На рисунке 5 иллюстрирует пример температурной кривой изделия в течение его общего времени нагрева  $t_2$  в ходе его перемещения по печи, вплоть до температуры  $T_2$  разгрузки печи. Также, на рисунке 5 по абсциссе продемонстрирована длина печи, или эквивалентно, время пребывания изделия в печи, которую он проходит при постоянной скорости. В течение времени пребывания, равного  $t_2 - t_1$ , температура поверхности изделия находится выше температуры  $T_1$ , например,  $570^\circ\text{C}$ , начиная с которой эта поверхность окисляется под действием кислорода, присутствующего в соответствующей зоне печи. [40], [51]

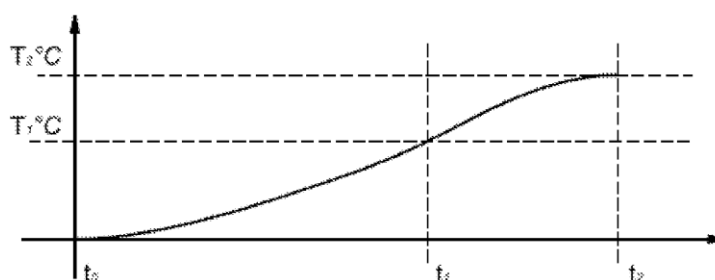


Рисунок 5 – Температурная кривая

Предполагается, что время пребывания при температуре выше температуры образования окалины и содержание кислорода, присутствующего в дымах, непосредственно влияют на количество окалины, образованной указанным образом, а также на возможную природу этой окалины. Эти параметры также влияют на количество окалины, которая осаждается в печи в ходе нагрева изделий, отслаивания окалины в установке очистки от окалины, и на количество окалины, остающейся на поверхности изделий, что может вызвать поверхностные дефекты в ходе операции прокатки. [42], [50]

Образование окалины рассматривается как неизбежные издержки способа нагрева металлургических изделий, и даже при ее извлечении,

поскольку эта дополнительная обработка скрывает расходы на ее формирование и на обработку этой окалины. Измерение образования окалины в ходе процесса нагрева осуществляют путем изучения образцов, осажденных на изделие и подогретых с его помощью. Таким образом, этот способ в основном является локализованным и не поддается непрерывному контролю на протяжении нагрева для каждого из изделий, обработанных в ходе этого способа.

Другой способ измерения количества полученной окалины состоит во взвешивании окалины, извлеченной в окалиноломателе, в отстойниках воды для очистки от окалины или в сборных баках, извлеченных на мостовом кране. Этот способ не является точным, поскольку взвешивается влажная окалина, и он не позволяет измерять окалину, которая осаждается в печи, но только ту, которая извлечена после прохождения окалиноломателя. Таким образом, существует приближение по измерению количества полученной окалины. С другой стороны, интервалы времени между взвешиваниями окалины продолжительные, - порядка нескольких часов между двумя измерениями. [41]

Наконец, взвешенные количества окалины могут соответствовать нескольким порциям изделия, нагретым в печи. Таким образом, способ является обобщенным, а, следовательно, приблизительным.

Таким образом, способы измерения количества полученной окалины согласно уровню техники являются ограниченными и приблизительными. Они не могут обеспечить непрерывный контроль образования окалины в печи для управления в режиме реального времени параметрами режима печи. С окалиной, когда ее принимают в расчет при эксплуатации печи, справляются в соответствии со стандартными настройками, которые, как предполагается, должны дать усредненный отклик на это явление, - каковы размеры изделий, материалы, которые его составляют, и реализованные циклы нагрева.

В частности, часто достигаются те значения настроек печи, которые повышают количество полученной окалины, позволяющие находиться в зоне благоприятного функционирования установки, при которой окалина легко отламывается от изделия в ходе его прохождения в окалиноломателе.

Печи функционируют с несколькими типами газа, например, природного газа, смешанного газа (смеси из нескольких газов) или коксового газа. Эти различные газы порождают составы различных дымов, влияние которых на образование окалины на поверхности изделия различно. Эти различия в настоящее время не принимаются в расчет при управлении печей.

Целью является предложение способа управления печью нагрева металлургических изделий, ослабляющего все или часть ранее перечисленных недостатков. Целью является сглаживание всех или части недостатков, имеющих в работах согласно уровню техники, и/или в повышении гибкости и простоты управления печью нагрева, при сохранении или повышении надежности и снижении затрат на это управление, на техническое обслуживание и/или на функционирование средств, с помощью которых можно управлять этой нагревательной печью. [47], [52]

По меньшей мере одна из этих целей достигается с помощью способа управления печью нагрева металлургических изделий, содержащего:

- определение для всего изделия или его части, количества окалины, образованной путем нагрева части изделия, причем данное определение осуществляют, исходя из измеренных данных, относящихся к части до и после нагрева,

- корректировку параметров режима печи в зависимости от количества образованной окалины указанным образом, определяемых для того, чтобы можно было изменить количество окалины, образованной путем нагрева.

Таким образом, измерение осуществляют, исходя из данных, характерных для упомянутой части изделия.

При осуществлении измерения, исходя из данных, измеренных для упомянутой части, удастся упростить определение окалины, избежать

применения этапов размещения и удаления образца, а также применения физических и человеческих средств, для реализации этого размещения и удаления. [49]

Разумеется, определение количества окалины может быть осуществлено для всего изделия. Разумеется, данные, измеренные после упомянутого нагрева и относящиеся к упомянутой части, могут быть измерены после упомянутого нагрева или после использования окалиноломателя.

Определение количества окалины, исходя из данных, измеренных для изделия до и сразу после использования печи, т.е. до использования окалиноломателя, позволяет уменьшить количество окалины, оставшееся в печи.

Определение количества окалины, исходя из данных, измеренных для изделия до и после использования окалиноломателя, позволяет уменьшить количество окалины, полученной в ходе всего способа. Также можно оптимизировать характеристики прилипания окалины к изделию. Эта оптимизация позволяет снизить дефекты, наслоившиеся на изделия. Определение количества окалины выгодно осуществлять периодически или непрерывно.

Корректировку параметров режима печи выгодно осуществляют периодически или непрерывно. В отличие от уровня техники, способ может быть применен легко, не нарушая ни используемый стандартный процесс нагрева, ни процесс прокатки. Является предпочтительным, чтобы определение количества окалины и/или корректировку параметров режима печи осуществляли для каждого из изделий, загруженных в печь.

Таким образом, можно непрерывно контролировать получение окалины. Определение количества окалины можно осуществлять непрерывно для комплекта изделий, входящего и выходящего из печи. Корректировку одного или нескольких параметров печи можно осуществлять непрерывно согласно информации, собранной датчиками, установленными на печи.

Таким образом, способ дает решение по непрерывному контролю образования окалины в печи для оптимизации количества и качества изделия, чтобы ее можно было легко удалять с поверхности изделий в окалиноломателе, и чтобы этого остаточного количества, доходящего вплоть до клетей прокатного стана, было как можно меньше. [46]

Способ управления согласно изобретению может содержать определение части отламываемой окалины, например, путем передвижения мобильных и закрепленных продольных брусьев на подине или опор для изделий в течение их перемещения по всей длине печи. Когда часть отламываемой окалины, определяемая указанным образом, превосходит заданный параметр, например, когда эта часть рассматривается как важная, способ управления может осуществлять модификацию параметров печи для изменения содержания окалины на поверхности изделия, в частности, при повышении налипания на нижнюю поверхность изделия. Это изменение может, в частности, оказывать влияние на такой параметр, как избыток остаточного воздуха, кислорода в дымах или впрыскивание водяного пара, или использование различного горючего в разных зонах печи.

Измерения, осуществленные на части изделия, таким образом, можно осуществлять на этой части изделия до и после нагрева. Согласно способы измеренные данные получают путем измерения толщины изделия или также других его размеров. Согласно первому аспекту измеренные данные получают путем измерения, по меньшей мере, одного из размеров изделия, причем это измерение осуществляется электромагнитными датчиками, расположенными до и после зоны нагрева, для определения количества окалины, образованной на поверхности изделия до применения окалиноломателя.

Является предпочтительным, чтобы электромагнитные датчики были ориентированы таким образом, чтобы можно было наблюдать область ниже и/или выше изделия. Является предпочтительным, чтобы электромагнитные датчики были расположены так, чтобы можно было наблюдать две части



одной и той же поверхности изделия, где одна из частей этой поверхности несет на себе измеряемую окалину, а другая часть этой поверхности была очищена, например, путем очистки от окалины, т.е., часть 1. Является выгодным, чтобы электромагнитные датчики представляли собой датчики с синим лазером, т.е., длина волны которого составляет 445-405 нм. Синие лазеры на самом деле хорошо адаптированы для уровня температуры изделий и температуры окружающей среды, в которой находятся датчики. Испытания, проведенные с красными лазерами, показали, что они являются менее точными, поскольку изделие находится на уровнях повышенных температур, например, порядка 1250°C. Аналогично, испытания с датчиками с белым светом, были менее убедительные, поскольку измерениям препятствовали лучи, отраженные от изделия.

Используемые датчики испускают электромагнитное излучение, которое сканирует область пространства на плоскости  $P$  с углом раствора и с заданной частотой. Таким образом, в момент  $t$  обозревают поверхность поперечного сечения изделия. Является предпочтительным, чтобы датчики были защищены с помощью теплоизоляции. Например, их размещают в теплоизолированных и кондиционированных кожухах, у которых стекло, изготовленное из стеклокерамики, позволяет пропускать электромагнитное излучение. Согласно другому аспекту за измерением толщины изделия следует этап, учитывающий увеличения изделия в объеме.

На этапе определения способа можно применять способ определения потерь на прокаливание, по меньшей мере, одной части металлургического изделия, когда изделие проходит нагревательную печь. Согласно второму аспекту предложен способ определения потерь на прокаливание, по меньшей мере, одной части металлургического изделия при прохождении упомянутого изделия через нагревательную печь. В способе согласно второму аспекту применяют устройство, которое описано ниже. Окалина, выпавшая на поверхности, сканируемой датчиком, определяют по анализу рельефа поверхности, полученного датчиком устройства. Является

предпочтительным, чтобы окалину, представленную на поверхности, сканируемой датчиком, определяли по анализу рельефа упомянутой поверхности, полученным упомянутым датчиком.

Согласно третьему аспекту предложен способ определения потерь на прокаливание, по меньшей мере, одной части металлургического изделия, причем изделие, в ходе его прохождения в нагревательной печи, по необходимости можно сочетать с любым другим аспектом изобретения или с одной или несколькими его модификациями. В способе согласно третьему аспекту применяют устройство согласно изобретению, которое описано ниже. Количество окалины, выпавшей в окалиноломателе, определяют по разности высоты изделия между участками выше и ниже по пути продвижения изделия относительно окалиноснимателя, определяемой обработкой данных, предоставляемых датчиками устройства. Является предпочтительным, чтобы для каждого комплекта из двух электромагнитных датчиков, для определения высоты изделия, из высоты изделия, вычитали высоту между нижней поверхностью изделия и образующей ролика, определяемую датчиком. [44]

Согласно другому аспекту, по необходимости комбинируемому со всеми или некоторыми из предыдущих аспектов, изменение параметра режима печи содержит применение контролируемого впрыскивания водяного пара в печи. Эта модификация имеет своей целью оказание воздействия на образование окалины на поверхности изделий.

Согласно другому аспекту, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, изменение параметра режима печи содержит повышение количества воздуха и/или окислительного топлива, впрыскиваемого в печь. Эта модификация имеет своей целью оказание воздействия на образование окалины на поверхности изделий.

Согласно другому аспекту, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, изменение параметра режима печи содержит применение специальных атмосфер в различных зонах печи, в

частности, атмосфер, демонстрирующих контролируемые содержания кислорода. Таким образом, можно получать остаточные значения кислорода, соответствующие обнаруженному уровню окисления. Эта модификация имеет своей целью изменение качества и количества полученных окалин.

Согласно другому аспекту, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, количество изделий в печи можно отрегулировать в зависимости от желаемой производительности. Согласно другому аспекту изобретения, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, изменение параметра режима печи содержит применение нескольких типов горючего для снабжения горелок печи и получения различных атмосфер. Эта модификация имеет своей целью снижение количества полученной окалины.

Согласно другому аспекту, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, параметр режима печи содержит применение кривых нагрева изделия. Согласно другому аспекту изобретения, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, способ согласно изобретению содержит оптимизацию количества металла, теряемого в печи и вне ее в ходе процесса нагрева изделия.

Согласно другому аспекту предложено устройство определения потерь на прокаливание, по меньшей мере, одной части металлургического изделия, называемой изделием, в ходе его прохождения в нагревательной печи, расположенной перед окалиноломателем, в котором предпочтительно, чтобы изделие перемещалось на роликовых конвейерах, причем устройство содержит комплект электромагнитных датчиков, и данный комплект содержит:

- по меньшей мере один электромагнитный датчик упомянутого комплекта, который установлен для сканирования согласно плоскости сканирования, по меньшей мере частично, нижней поверхности изделия вблизи выхода из печи, причем упомянутый электромагнитный датчик ориентирован таким образом, чтобы упомянутая плоскость сканирования

электромагнитным излучением, осуществляемого упомянутым датчиком, была перпендикулярной к направлению продвижения изделия,

- комплект меньшей мере, из двух электромагнитных датчиков, размещенных выше по направлению продвижения относительно окалиноломателя и ориентированных таким образом, чтобы плоскости сканирования их электромагнитного излучения находились по существу на одной плоскости, перпендикулярной к направлению продвижения упомянутой по меньшей мере одной части изделия, проходящей через образующую ролика роликового конвейера,

- комплект по меньшей мере из двух электромагнитных датчиков, размещенных ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя и ориентированных таким образом, чтобы плоскости сканирования их электромагнитного излучения находились почти на одной плоскости, перпендикулярной к направлению продвижения изделия, проходящего через образующую ролика роликового конвейера, причем упомянутые датчики установлены для определения высоты изделия выше и ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя.

Согласно другому аспекту, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, датчики установлены для сканирования верхней поверхности изделия, и датчики установлены для сканирования боковой поверхности изделия. Согласно другому аспекту изобретения, по необходимости сочетаемому со всеми или с некоторыми из предыдущих аспектов, плоскости сканирования электромагнитного излучения датчиков наклонены под углом, обозначенным как  $\alpha$ , по отношению к продольной оси роликов роликовых конвейеров.

Согласно другому аспекту предложено устройство управления нагревательной печи для металлургических изделий, причем устройство сконфигурировано для применения способа управления согласно изобретению и содержит:

- средства определения, сконфигурированные для определения для части изделия количество окалины, образованной путем нагрева упомянутой части изделия, причем эти средства применяют до и после упомянутого нагрева,

- средства корректировки параметра режима печи, в зависимости от количества определяемой окалины, образованной указанным образом, причем эти средства корректировки сконфигурированы для снижения количества окалины, образованной путем нагрева.

Согласно другому аспекту предложен программный продукт для ЭВМ, содержащий команды программного кода для исполнения этапов способа по любому из пунктов согласно изобретению, при исполнении программы на ЭВМ. Таким образом, изобретение позволяет оптимизировать непрерывно и для каждого нагреваемого изделия, или периодически, - для выбора подогреваемых изделий, режима работы печи, путем измерения количества окалины, образованной в ходе прохождения изделий по печи, и исходя из этого определения качества и количества, корректировать настройки, оптимальные для применения для процесса нагрева, для снижения количества окалины, и/или подавлять ее образование в печи, для снижения энергопотребления установки, или решать проблемы прокатки изделий после их нагрева.

Измерение осуществляют путем оптического анализа по ширине изделия так же, как и по длине изделия в ходе его перемещения перед датчиком. Для каждой точки в зоне, считываемой датчиком, т.е., на поверхности изделия, обсматриваемой датчиком, измерение расстояния осуществляют с точностью порядка микрометра, что позволяет измерять реальную высоту, т.е. толщину изделия.

Таким образом, можно легко рассчитывать объем изделия и, следовательно, его массу до и после нагрева, за вычетом количества отведенной окалины. Выполненное измерение также позволяет сделать оценку толщины образованной окалины, и, таким образом, осуществить

поправку на массу окалины, которая была отделена от изделия, и которая выпала в печи и в окалиноломателе. Также можно путем расчета выполнить поправку на увеличение объема изделий. Эти расчеты могут быть выполнены с помощью простых физических алгоритмов.

На рисунке 6 можно увидеть схематически представленный электромагнитный датчик 20, электромагнитное излучение которого сканирует поверхность нижней поверхности изделия 5, перемещаясь по плоскости P20 согласно углу раствора. На этой фигуре изделие 5 представлено в виде поперечного разреза. Удлинение датчика по отношению к изделию и углу раствора датчика позволяет покрыть всю ширину изделия. Поскольку удлинение изделия и/или увеличение угла раствора датчика не позволяют покрыть всю ширину изделия, несколько датчиков можно выгодно использовать для покрытия всей ширины изделия.

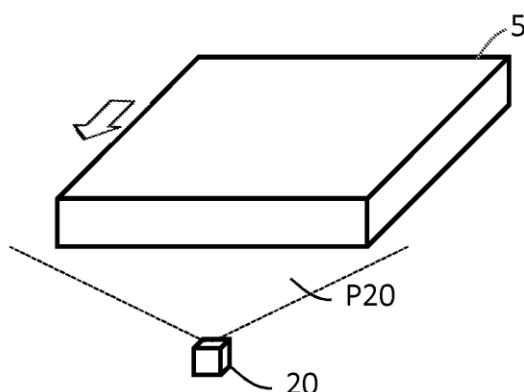


Рисунок 6 – Схема датчика

Между тем, для ограничения стоимости установки можно установить только один датчик и использовать данные, собранные этим датчиком, для их переноса на поверхность изделия, не охваченную датчиком. Таким образом, приблизительно считают, что основное количество и характеристики окалины также находятся на поверхности, охватываемой датчиком, и на

поверхности, не охватываемой датчиком. Часть количества окалины, выпавшей в печи 4, таким образом, определяют по меньшей мер, с помощью одного датчика 20, размещенного под изделием 5, который считывает его нижнюю поверхность. Упомянутый датчик размещают на выходе из печи и самое большее, рядом с ней. Датчик осуществляет картографию рельефа нижней поверхности изделия в ходе его продвижения. Анализ картографии рельефа поверхности изделия позволяет определить количество окалины, выпавшей в печи. На самом деле, высокие точки на поверхности изделия соответствуют участкам, где окалина всегда присутствует на изделии. Наоборот, низкие точки соответствуют участкам на поверхности изделия, где окалина отломалась и выпала в печи.

Анализ данных, предоставляемых датчиком, позволяет определить вероятные сингулярные точки. Например, точку, чуть более высокую, чем средняя из высоких точек. В этой точке является вероятным, что окалины сильно отделились от изделия, но остаются присутствовать на нем. Статистический анализ данных, предоставляемых датчиком, позволяет учитывать эти синнулярные точки, например, для их устранения в ходе обработки данных, чтобы не помешать определению толщины окалины. Датчик 20 помещают под изделием, при этом необходимо избежать того, чтобы окалины не выпадали на него и не мешали его функционированию. Для этого, между изделием 5 и датчиком 20 помещают экран 15, наклоненный по отношению к уровню поверхности земли. Этот экран должен быть почти прозрачный для лучей света, таким образом, чтобы он не ослаблял точность измерения. Речь может идти, например, о стеклокерамической пластинке.

Наклон экрана выбирают таким образом, чтобы окалина, которая падает на экран, соскальзывала и не оставалась на нем. Датчик помещают под экраном, причем его наклоняют также на тот же угол, что и экран, во избежание каких-либо оптических помех для лазера в ходе перемещения экрана. Для более точного определения потерь окалины в печи, датчик

размещают с каждой стороны от изделия на выходе из печи. Точно так же, как и датчик, размещенный выше изделия, эти датчики осуществляют картографию рельефа боковых поверхностей изделия в ходе его продвижения, для определения количества окалины, образованной на упомянутых боковых поверхностях, которая выпадает в печи.

В случае, когда на поверхностях изделия размещен только один датчик, общее количество окалины, утерянное двумя поверхностями изделия, оценивают, как в два раза большее, чем количество, определенное на поверхности изделия приборами. Также является выгодным, чтобы датчик также был размещенный над изделием, на выходе из печи, для того чтобы он мог выполнять картографию на верхней поверхности изделия. Поскольку эта окалина по большей части остается на изделие, на выходе из печи, эта картография на верхней поверхности, таким образом, не используется для определения количества окалины, выпавшей в печи. Эта картография позволяет, например, раскрывать различия в окислении на верхней поверхности изделия, что может быть полезным для оптимизации параметров режима печи.

На рисунке 7, можно увидеть представленный схематически изделие 5, продвигающийся на роликовом конвейере 6 для выведения из печи согласно продольному виду сбоку. Электромагнитный датчик 20 размещают под изделием. Его электромагнитное излучение сканирует поверхность нижней поверхности изделия при его перемещении по плоскости P20.

Наклонный экран 15 размещают между изделием 5 и датчиком 20. Этот экран позволяет избежать того, что окалины будут осаждаться на датчике и помешают его функционированию. Датчик 20 наклонен на тот же угол, что и наклонный экран 15, таким образом, чтобы плоскость P20 сканирования датчика была перпендикулярна к экрану 15. Количество окалины, выпавшей в окалиноломателе 8, определяют двумя комплектами датчиков, где первый расположен выше по направлению продвижения относительно



окалиноломателя, а второй - ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя.

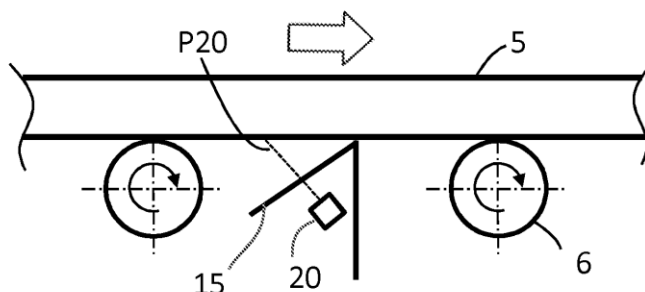


Рисунок 7 – Схема движения изделия

Каждый комплект датчиков содержит по меньшей мере один первый 30, 40, датчик, размещенный на верхней поверхности изделия, и по меньшей мере один второй 31, 41 датчик, размещенный по бокам изделия. Датчики 30 и 31 расположены выше по направлению продвижения относительно окалиноломателя, а датчики 40 и 41 расположены ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя. Далее, мы указываем, лишь то, что комплект датчиков 30 и 31 говорит о том, что расположение этих датчиков идентично расположению датчиков 40 и 41. Датчик 30, размещенный выше изделия, расположен по вертикали ролика 14 роликового конвейера, на котором циркулируют изделия. Он позволяет измерять расстояние между верхней поверхностью изделия 5 и верхней образующей ролика 14.

Для изделия, находящегося строго на роликовой опоре 14, это расстояние соответствует высоте изделия. Датчик размещают таким образом, чтобы его поле измерения охватывало по меньшей мере частично верхнюю поверхность изделия и по меньшей мере одну часть верхней образующей упомянутого ролика. Является предпочтительным, чтобы датчик был наклонен на угол альфа по отношению к продольной оси упомянутого

ролика, например, на угол  $5^\circ$ . Этот наклон позволяет гарантировать, что пучок лучей датчика будет охватывать по меньшей мере одну точку 18 верхней образующей ролика.

На самом деле, если датчик был расположен со своим полем измерения, параллельным оси ролика, будет необходимо идеально выровнять вертикаль датчика по отношению к ролику так, чтобы датчик обозревал верхнюю образующую ролика, а не образующую, размещенную на нижней плоскости. Этот датчик также позволяет измерять рельеф на верхней поверхности изделия, охватываемой его полем измерения.

Датчик, размещенный сбоку от изделия, расположен на той же вертикальной плоскости, что и датчик, размещенный выше изделия, т.е. на уровне образующей того же опорного ролика. Поскольку датчик, размещенный выше изделия, не охватывает две боковые стороны опорного ролика, расположенные с одной и с другой стороны от изделия, датчик, размещенный сбоку от изделия, располагают с той стороны ролика, с какой датчик, находящийся на верхней поверхности изделия, видит образующую.

Датчик, размещенный сбоку от изделия, позволяет корректировать высоту изделия, измеренную датчиком, размещенным на верхней поверхности, поскольку изделие не расположено точно на опорном ролике. На самом деле, для деформированного изделия, который не опирается на образующую ролика, высота изделия, определяемая верхним датчиком, соответствует сумме реальной высоты изделия и высоты зазора между нижней поверхностью изделия и образующей ролика.

Сочетание этих двух датчиков позволяет точно измерять высоту изделия. Сопоставление высоты изделия, измеренной первым комплектом датчиков, расположенных выше по направлению продвижения относительно окалиноломателя, и высоты, измеренной вторым комплектом датчиков, расположенных ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя, позволяет определить потерю высоты изделия в

окалиноломателе. Эта потеря высоты соответствует основной окалине, выпавшей в окалиноломателе.

Датчики, размещенные по бокам от изделия, позволяют также выполнять картографию рельефа той поверхности изделия, которую они считывают. Анализ картографии рельефа поверхности изделия позволяет определить количество окалины, выпавшей в печи, для датчика, размещенного выше по направлению продвижения относительно окалиноломателя, и окалины, выпавшей в окалиноломателе, - для датчика, размещенного ниже по направлению продвижения изделия относительно окалиноломателя. На самом деле, высокие точки на поверхности изделия соответствуют местам, где окалина всегда имеется на изделии. Наоборот, низкие точки соответствуют местам на поверхности изделия, где окалина отломалась и выпала в печи.

Поскольку боковые датчики расположены только на поверхностях изделия, общее количество окалины, утерянное двумя поверхностями изделия, оценивается как в два раза превышающее количество, измеренное на поверхности изделия приборами.

На рисунке 8 можно увидеть представленное в поперечном разрезе изделие 5, продвигающееся на роликовом конвейере. Электромагнитный датчик 30 размещен выше изделия и считывает часть на верхней поверхности изделия так же, как и часть ролика 14 роликового конвейера, расположенную по вертикали датчика. Плоскость P30, по которой перемещается пучок лучей датчика, перпендикулярна к изделию и почти параллельна оси ролика 14, будучи наклоненной на угол альфа по отношению к этой оси.

Датчик 30 позволяет выполнять первую оценку высоты изделия 5 путем измерения расстояния между верхней поверхностью и изделием и высокой точки образующей ролика 14. Электромагнитный датчик 31 расположен сбоку от изделия и считывает боковую поверхность изделия, так же, как и часть ролика 14. Плоскость P31, по которой перемещается пучок лучей датчика 31, перпендикулярна к ролику и проходит через ось ролика.

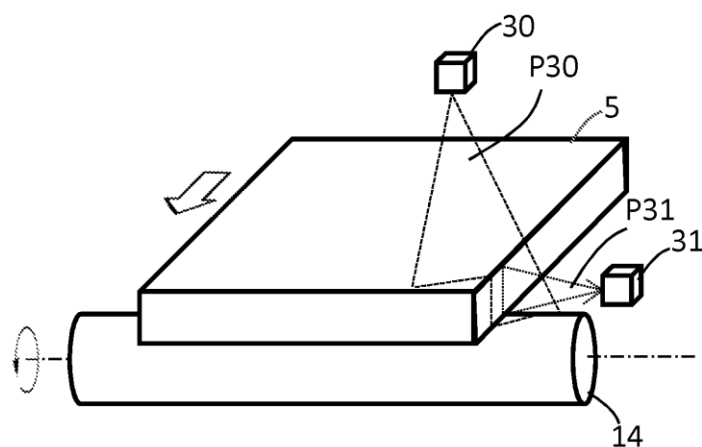


Рисунок 8 – Изделие на конвейере

Верхняя образующая ролика 14 находится, таким образом, на плоскости P31. Датчик 31 позволяет анализировать рельеф боковой поверхности изделия и измерять возможное пространство между краем изделия 5 и образующей ролика 6.

На рисунке 9 можно увидеть представленное в виде поперечного сечения увеличение рисунке 8 на уровне датчика 31, показывающего деформированное изделие 5, боковой край которого не опирается на ролик 14. Датчик 31 позволяет, таким образом, измерять высоту 16 пространства между краем изделия 5 и образующей ролика 14. Эту высоту вычитают из высоты изделия, определенной датчиком 30 для получения реальной высоты изделия.

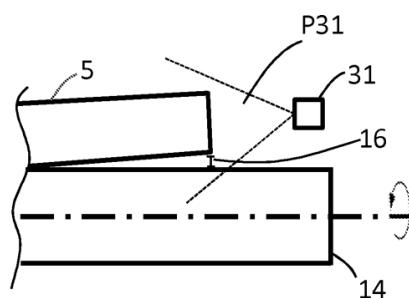


Рисунок 9 – Изделие на конвейере (поперечное сечение)

На рисунке 10 можно увидеть схематический вид сверху изделия 5, продвигающегося на роликовом конвейере, у которого показан ролик 14. Электромагнитный датчик 30 размещен выше изделия, и он считывает часть на верхней поверхности изделия, так же, как и часть ролика 14. Плоскость P30, по которой перемещается пучок лучей датчика, перпендикулярна к изделию и почти параллельна оси ролика 14, будучи наклоненной на угол альфа по отношению к этой оси. Этот наклон датчика позволяет гарантировать, что плоскость P30 будет проходить через верхнюю образующую ролика 14 в точке 18. Датчик 30 позволяет, таким образом, выполнять первую оценку высоты изделия 5 путем измерения расстояния между верхней поверхностью и изделием, и это высокая точка 18 образующей ролика.

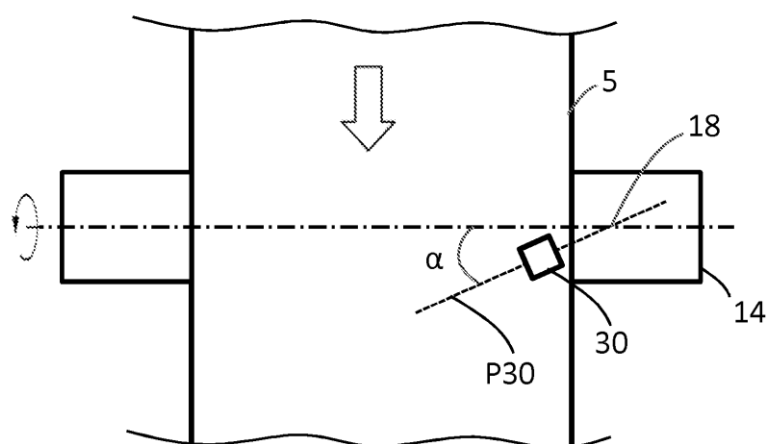


Рисунок 10 – Изделие на конвейере (вид сверху)

Эти различные устройства согласно рисунков 7-10 могут быть применены на различных этапах процесса изготовления, в частности, для выявления разности в размерах изделий или в их массах, указывающих на образование окалины, по количеству или по его характеристикам.

Таким образом, можно выявить количество, которое может осаждаться в печи в течение нагрева или после прохождения печи, при захвате изделия

машиной для разгрузки печи, или на каждом этапе способа после прохождения печи, например, в ходе переноса изделия на роликовых конвейерах, в окалиноломателе или в различных блоках прокатного стана. Специалист в данной области техники на самом деле может разместить такие датчики вблизи печи.

Датчик помещают в корпус, охлаждаемый водой, и нацеливают сквозь окно обзора, омываемое холодным воздухом, который поддерживает требуемую температуру, несмотря на излучение, которое он принимает от печи или от изделия.

В частности, представляет интерес размещение одного измерительного устройства для изделия до его загрузки печь, а также размещение другого измерительного устройства после его разгрузки печи или после использования окалиноломателя, для получения разности между этими картинками измерения количества полученной окалины и ее характеристик. Также можно выполнить несколько измерений, например, до печи, на выходе из печи и после использования окалиноломателя, для лучшей оценки различных этапов существования окалины.

Устройство, описанное на рисунках 7-10, может быть установлено на входе в печь, для определения объемной модели изделия при его загрузке в печь, причем он может быть установлен на выходе из печи или на выходе из окалиноломателя, для реализации объемной модели изделия после нагрева и очистки от окалины. Сопоставление моделей позволяет получать сведения о результате нагрева. Эти сведения могут быть использованы, в частности, для воздействия на рабочие параметры печи, для изменения кривой нагрева и/или управления горелками и/или атмосферой в корпусе печи и в частности, избытком воздуха и/или при необходимости, впрыскиванием водяного пара в определенные зоны печи, и/или для обеспечения функционирования печи с восстановительными и окислительными зонами, и/или для изменения параметров регулировки окалиноломателя, таких как давление воды,

количество используемых площадок очистки от окалины, скорости перемещения изделия.

Данные по этой информации о изделии до и после нагрева обрабатывают с помощью ЭВМ согласно простым физическим моделям, или разработанным, например, для учета характеристик окалины, для оценки массовых частей окалины, осаждающейся в печи в ходе нагрева, оценки окалины, образованной на верхней поверхности изделия и на его нижней поверхности. Таким образом, можно учитывать потерю части окалины, образованной на нижней поверхности изделия в ходе его перемещения на продольных брусках печи или на эвакуационных роликовых конвейерах, а также оценивать остаточные части окалины на поверхности изделия после очистки от окалины.

Предлагается программный продукт для ЭВМ, содержащий команды программного кода для исполнения этапов способа по любому из пунктов согласно изобретению, поскольку программа исполняется на ЭВМ. Также может быть реализована компьютерная программа для применения изделия. Например, программа типа размытой логики или самонастраивающейся программы, для анализа окалины, непрерывно образующейся на изделие, для проверки операции, происходящей на подводящем трубопроводе печи, или для оценки изменений окалины (по количеству и по качеству) с течением времени, в соответствии с действующими модификациями способа.

Видно, что путем непрерывного измерения количества окалины, образованной на поверхности изделия и в системе подводящего трубопровода печи, с помощью ЭВМ, можно непрерывно настраивать параметры подводящего трубопровода печи в соответствии с предварительно заданной методике или целями. Например, снижать количество образующейся окалины, стабилизировать количество полученной окалины до заранее заданного значения, в зависимости от природы обрабатываемого изделия и от способа его обработки, изменять количество полученной

окалины, для получения качества окалины, пригодного для данного способа, например, для его характеристик эвакуации в окалиноломатель.

Этот способ непрерывного управления печи в соответствии с измерением полученной окалины позволяет оптимизировать общий процесс прокатки и оптимизировать энергопотребление, при снижении количества полученной окалины. Кроме того, различные характеристики, формы, разновидности и варианты выполнения изобретения могут быть связаны друг с другом согласно различным комбинациям в измерении, где они не будут несовместимыми или исключаящими друг друга.

Анализируя представленный в первой главе материал можно сделать такие выводы:

1. Тип стали оказывает существенное влияние на технологические характеристики термообработки.
2. Без автоматического управления параметрами термообработки валов невозможно обеспечить высокое качество процесса.



## **Глава 2. Технологические аспекты технологических процессов термообработки валов.**

### **2.1 Патентный анализ процесса непрерывной закалки и отжига.**

Как правило, установка для непрерывного отжига стального листа включает в себя нагревательную печь, печь изотермического нагрева, охлаждающую печь, и аналогичные устройства. На входе установки концевая часть предшествовавшего материала и передняя часть последующего материала, которые имеют различные размеры по толщине и ширине стального листа, различные стандарты и условия отжига, свариваются друг с другом и подвергаются непрерывной обработке как единый стальной лист. Цель данного процесса заключается в осуществлении процесса нагрева, пригодного для всех условий отжига, путем включения заданного значения температуры печи в каждой зоне нагрева нагревательной печи до и после сварного участка. В конечном итоге, стальной лист разрезают и транспортируется в рулонах на участок выполнения следующей операции, на выходе установки.

В нагревательной печи температура стального листа, как правило, повышается путем радиационного нагрева с помощью трубчатого радиационного нагревателя. Однако если размеры и другие параметры стальных листов до и после сварного участка отличаются друг от друга, температуры стального листа изменяются, поскольку условия нагрева до и после сварного участка являются одинаковыми. Кроме того, поскольку постоянная времени, необходимая для регулирования трубчатого радиационного нагревателя, велика, реакция является медленной, и период изменения температуры стального листа увеличивается при обычном регулировании с обратной связью. Таким образом, например, как указывается в патентных документах 1 и 2, скорость реакции пытались увеличить посредством регулирования с прямой связью на основе такой

информации, как изменение размера или стандарта стального листа, и путем значительного изменения температуры печи и расхода топлива в короткий период времени.

Более конкретно, в патентном документе 1 раскрывается способ непрерывного регулирования расхода топлива путем непрерывного измерения коэффициента черноты стального листа заранее с помощью инфракрасного излучения, и устранения изменений температуры стального листа, спрогнозированного по изменению коэффициента черноты, в момент времени, когда стальной лист непосредственно достигает нагревательного элемента. В патентном документе 2 раскрывается способ регулирования расхода топлива путем расчета заранее данных временного ряда температуры стального листа и расхода топлива, соответствующего заданному значению температуры стального листа с обеспечением минимальной погрешности относительно заданного значения, с помощью динамической модели температуры стального листа, толщины листа, линейной скорости подачи и расхода топлива.

При регулировании с прямой связью, как было указано выше, температура печи и расход топлива задаются в соответствии с моделью на основе полученной заранее информации. Однако, поскольку регулирование с прямой связью не основано на замеренном значении температуры стального листа, происходит отклонение регулирования вследствие погрешности модели. Следовательно, необходимо вводить коэффициент усиления системы регулирования, соответствующий погрешности модели.

Учитывая эти обстоятельства, в патентном документе 3 раскрывается способ определения с помощью определенных параметров вероятной реакции температуры стального листа, изменяющейся в сторону опорного значения температуры стального листа, и определения температуры печи с помощью динамической модели, использующей переменные, относящиеся к техническим характеристикам стального листа, такие как толщина и ширина листа, для определения вероятной реакции температуры.

Патентный документ 1: Патент Японии № 5510787.

Патентный документ 2: Выложенная патентная заявка Японии № 64-28329.

Патентный документ 3: Выложенная патентная заявка Японии № 3-236422.

Способы, раскрываемые в патентных документах 1 и 2, являются эффективными для повышения скорости реакции при изменении температуры стального листа. Однако в способах, раскрываемых в патентных документах 1 и 2, при введении определенного возмущающего фактора, расчет с помощью модели температуры печи и расхода топлива нагревательной печи, требуемых для достижения заданного значения температуры стального листа, производится с погрешностью. Таким образом, при работе в установившемся режиме без возмущающего фактора возникает погрешность регулирования (установившаяся погрешность).

С другой стороны, способ, раскрываемый в патентном документе 3, обеспечивает регулирование с хорошей реакцией без остаточной погрешности регулирования, за счет сбора действительных значений температуры стального листа за постоянный период, с последующим заданием вероятной реакции температуры стального листа и вычислением соответствующего заданного значения температуры печи при прогнозировании температуры стального листа в будущем с учетом в модели разницы между предшествующим и последующим материалами, такой как толщина и ширина стального листа. Однако в способе, раскрываемом в патентном документе 3, при увеличении температуры стального листа на входе нагревательной печи в определенные моменты времени погрешность модели возрастает. Кроме того, если на выходе нагревательной печи производится регулирование с обратной связью, основанное только на замеренном значении температуры стального листа, скорость реакции замедляется.

Таким образом, желательно получить способ регулирования температуры стального листа, обеспечивающий одновременно решение двух задач, а именно, повышения скорости регулирования при регулировании с прямой связью, и устранения остаточной погрешности регулирования при регулировании с обратной связью. И, хотя вышеупомянутые две задачи могут быть решены по отдельности, объем работы при регулировании с прямой связью является возмущающим фактором для регулирования с обратной связью, если не предусмотрена соответствующая конструкция или настройка. Таким образом, требуется решить две вышеупомянутые задачи, таким образом, чтобы их решения не мешали друг другу.

Для решения указанной проблемы и выполнения поставленной задачи, предлагается устройство регулирования температуры стального листа, содержащее: блок измерения температуры листа, измеряющий температуру стального листа на входе и на выходе нагревательной печи, содержащей множество зон нагрева, расположенных в направлении прохождения стального листа; блок измерения температуры печи, измеряющий температуру печи в каждой из зон нагрева.

Блок вычисления коэффициента влияния, вычисляющий коэффициент влияния, характеризующий изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и коэффициент влияния, характеризующий изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры печи в каждой из зон нагрева, используя уравнение тепловой модели, дающее возможность вычислить температуру стального листа в нагревательной печи путем введения заданного значения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и заданных значений температуры печи в каждой из зон нагрева и скорости прохождения листа.

Блок настройки модели регулирования, настраивающий модель регулирования путем введения командного значения изменения температуры

печи и получения в качестве выходного сигнала значений температуры печи в каждой из зон нагрева и температуры стального листа на выходе нагревательной печи, путем использования коэффициента влияния, вычисленного блоком вычисления коэффициента влияния, времени перемещения стального листа до тех пор, пока влияние изменения температуры печи в каждой из зон нагрева не отразится на изменении температуры стального листа на выходе нагревательной печи, постоянной времени от момента вывода командного значения изменения температуры печи в каждой из зон нагрева до момента фактического изменения температуры печи, и переменной, представляющей неизвестное возмущение по температуре стального листа на выходе нагревательной печи.

Блок оценки параметров состояния и возмущающего воздействия, оценивающий одновременно параметр состояния и возмущение температуры модели регулирования, путем введения отклонения фактического значения температуры стального листа на входе нагревательной печи, измеренного блоком измерения температуры листа, от заданного значения, отклонения фактического значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи, измеренного блоком измерения температуры листа, от заданного значения, и отклонения фактического значения температуры печи в каждой из зон нагрева, измеренного блоком измерения температуры печи, от начального заданного значения.

Блок расчета величины изменения температуры печи, вычисляющий величину изменения температуры печи в каждой из зон нагрева в условиях ограничения, таким образом, чтобы квадрат суммы отклонения фактического значения от заданного значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи был минимальным, используя значения параметра состояния и возмущения температуры модели регулирования, оценка которых производится блоком оценки параметров состояния и возмущающего воздействия; и блок регулирования температуры печи, регулирующий расход топлива, используемого в каждой из зон нагрева, для

достижения величины изменения температуры печи, вычисленной блоком расчета величины изменения температуры печи.

Кроме того, в устройстве регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению, блок расчета величины изменения температуры печи содержит по меньшей мере одно условие ограничения, относящееся к верхнему и нижнему предельным значениям температуры печи, величине изменения температуры печи в единицу времени, максимальному и минимальному допустимым значениям расхода топлива, а также к величине изменения расхода топлива в единицу времени.

Кроме того, в устройстве регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению, блок вычисления коэффициента влияния, блок настройки модели регулирования, блок оценки параметров состояния и возмущающего воздействия и блок расчета величины изменения температуры печи каждый выполняют процесс для каждого заданного значения из множества значений скорости прохождения листа, применимых при выполнении фактической операции, и блок регулирования температуры печи регулирует расход топлива, используемого в каждой из зон нагрева для получения величины изменения температуры печи, вычисленной по заданному значению скорости прохождения листа, близкому к фактическому значению скорости прохождения листа.

Кроме того, настоящим изобретением предлагается способ регулирования температуры стального листа, включающий в себя: этап измерения температуры листа, на котором производится измерение температуры стального листа на входе и на выходе нагревательной печи, содержащей множество зон нагрева, расположенных в направлении прохождения стального листа.

Этап измерения температуры печи, на котором производится измерение температуры печи в каждой из зон нагрева. Этап вычисления коэффициента влияния, на котором производится вычисление коэффициента влияния, характеризующего изменение температуры стального листа на

выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и коэффициента влияния, характеризующего изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры печи в каждой из зон нагрева, с использованием уравнения тепловой модели, дающего возможность вычислить температуру стального листа в нагревательной печи путем введения заданного значения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и заданных значений температуры печи в каждой из зон нагрева и скорости прохождения листа.

Этап настройки модели регулирования, на котором производится настройка модели регулирования путем введения командного значения изменения температуры печи и получения в качестве выходного сигнала значений температуры печи в каждой из зон нагрева и температуры стального листа на выходе нагревательной печи, путем использования коэффициента влияния, вычисленного на этапе вычисления коэффициента влияния, времени перемещения стального листа до тех пор, пока влияние изменения температуры печи в каждой из зон нагрева не отразится на изменении температуры стального листа на выходе нагревательной печи, постоянной времени от момента вывода командного значения изменения температуры печи в каждой из зон нагрева до момента фактического изменения температуры печи, и переменной, представляющей неизвестное возмущение по температуре стального листа на выходе нагревательной печи.

Этап оценки параметров состояния и возмущающего воздействия, на котором производится одновременная оценка параметра состояния и возмущения температуры модели регулирования, путем введения отклонения фактического значения температуры стального листа на входе нагревательной печи, измеренного на этапе измерения температуры листа, от заданного значения. Отклонения фактического значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи, измеренного на этапе измерения температуры листа, от заданного значения, и отклонения

фактического значения температуры печи в каждой из зон нагрева, измеренного на этапе измерения температуры печи, от начального заданного значения.

Этап расчета величины изменения температуры печи, на котором производится вычисление величины изменения температуры печи в каждой из зон нагрева в условиях ограничения, таким образом, чтобы квадрат суммы отклонения фактического значения от заданного значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи был минимальным, с использованием значения параметра состояния и возмущения температуры модели регулирования, оценка которых производится на этапе оценки параметров состояния и возмущающего воздействия; и этап регулирования температуры печи, на котором производится регулирование расхода топлива, используемого в каждой из зон нагрева, для достижения величины изменения температуры печи, вычисленной на этапе расчета величины изменения температуры печи.

## **2.2 Устройства и способы регулирования температуры при термообработке.**

На рисунке 11 - блок-схема, демонстрирующая конфигурацию возможного варианта реализации устройства для регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению.

На рисунке 12 - блок-схема, демонстрирующая конфигурацию обычного устройства для регулирования температуры стального листа.

На рисунке 13 - график, демонстрирующий возмущающее воздействие по температуре стального листа на входе и на выходе нагревательной печи.

На рисунке 14 - график, показывающий температуру печи в каждой зоне нагрева и скорость изменения температуры стального листа на выходе нагревательной печи при способе регулирования согласно настоящему предложению.



На рисунке 15 - график, показывающий температуру печи в каждой зоне нагрева и скорость изменения температуры стального листа на выходе нагревательной печи при обычном способе регулирования.

На рисунке 16 - график, демонстрирующий возмущающее воздействие по температуре стального листа на выходе нагревательной печи.

Ниже приводится подробное описание возможного варианта реализации устройства для регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению и его работа со ссылками на прилагаемые чертежи.

На рисунке 11 приведена блок-схема, демонстрирующая конфигурацию возможного варианта реализации устройства для регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению. Как показано на рисунке 11, а устройство 1 для регулирования температуры стального листа согласно возможному варианту реализации настоящего изобретения представляет собой устройство, регулирующее температуру стального листа в нагревательной печи, включая  $n$  ( $\geq 1$ ) зон нагрева (пять в данном варианте реализации), расположенных по направлению перемещения стального листа. Устройство 1 регулирования температуры стального листа согласно данному варианту реализации содержит блок 11 измерения температуры листа, блок 12 измерения температуры печи, блок 13 вычисления коэффициента влияния, блок 14 настройки модели регулирования, блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия, блок 16 расчета величины изменения температуры печи и блок 17 регулирования температуры печи в качестве основного компонента. Блок 11 измерения температуры листа измеряет температуру стального листа (температуру листа) на входе и выходе нагревательной печи в каждый заданный период времени и посылает электрический сигнал, характеризующий температуру листа, в блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия. Блок 12 измерения температуры печи измеряет фактическое значение температуры 45

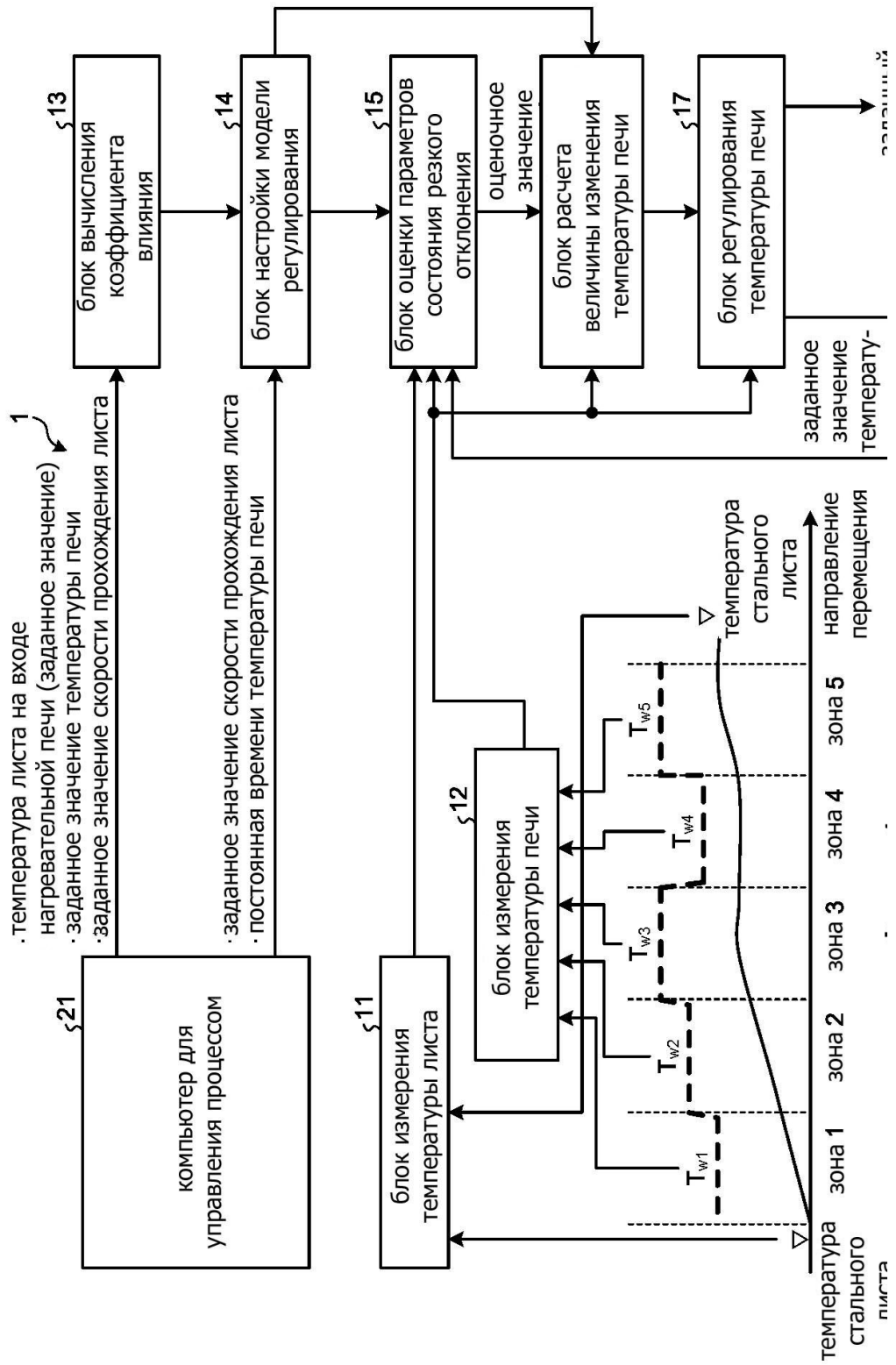


Рисунок 11 – Блок схема устройства для регулирования температуры

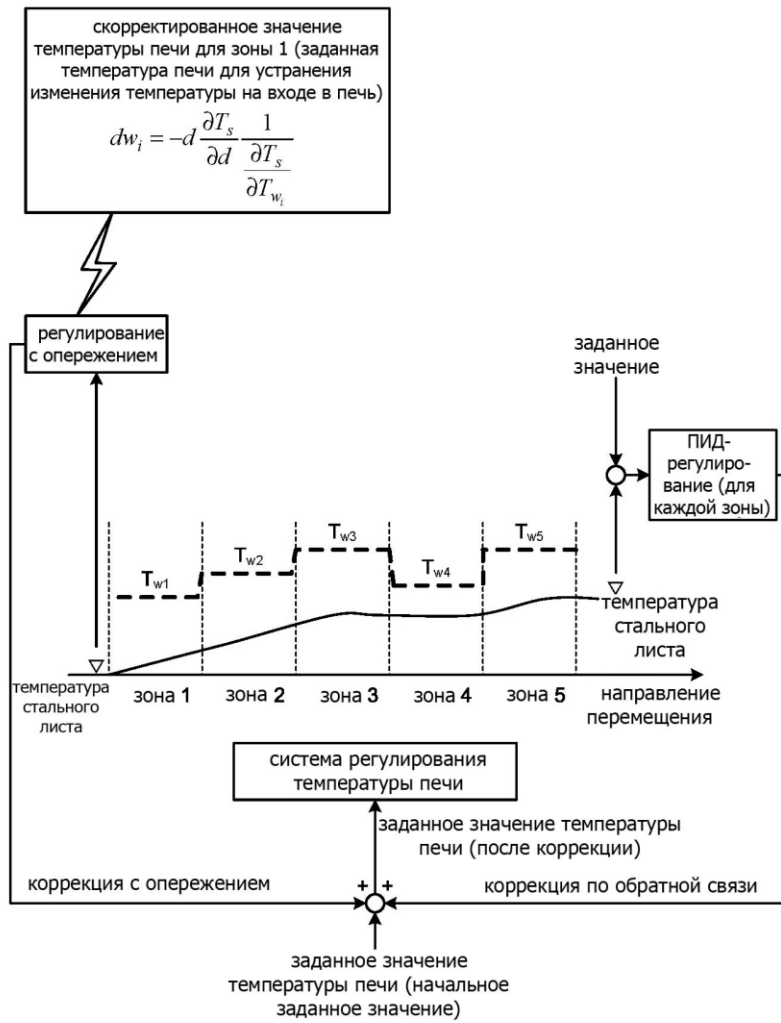


Рисунок 12 – Блок схема базового устройства для регулирования температуры

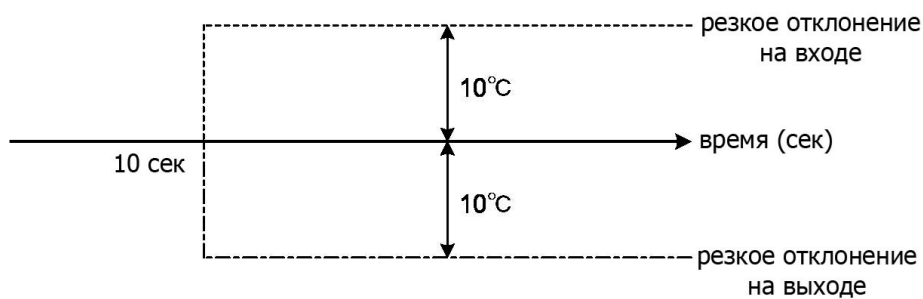


Рисунок 13 – Возмущающее воздействие по температуре стального листа

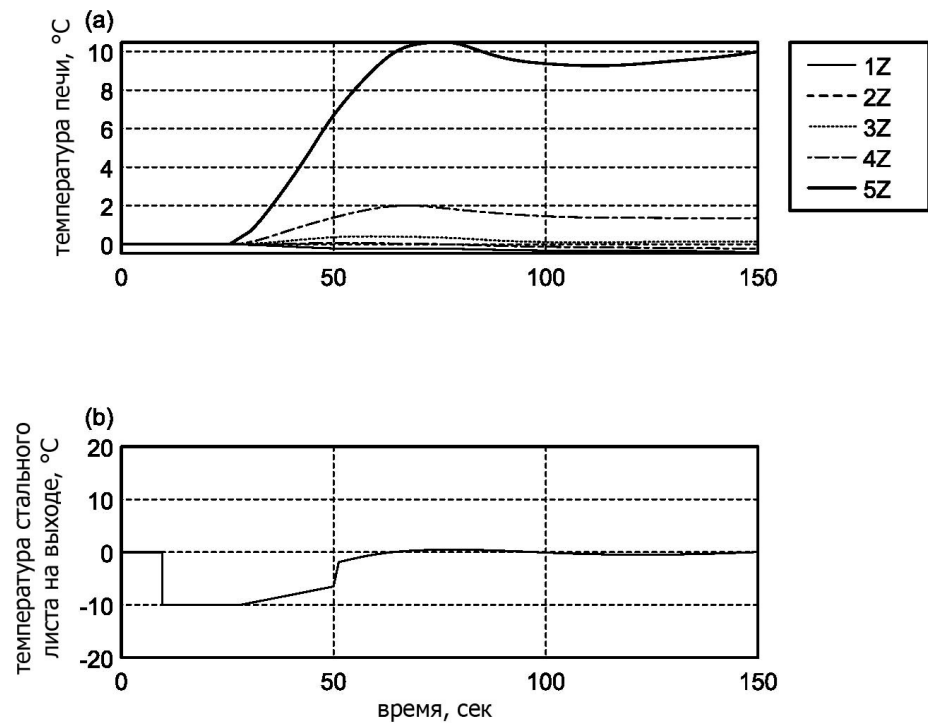


Рисунок 14 – График, показывающий температуру печи в каждой зоне нагрева и скорость изменения температуры

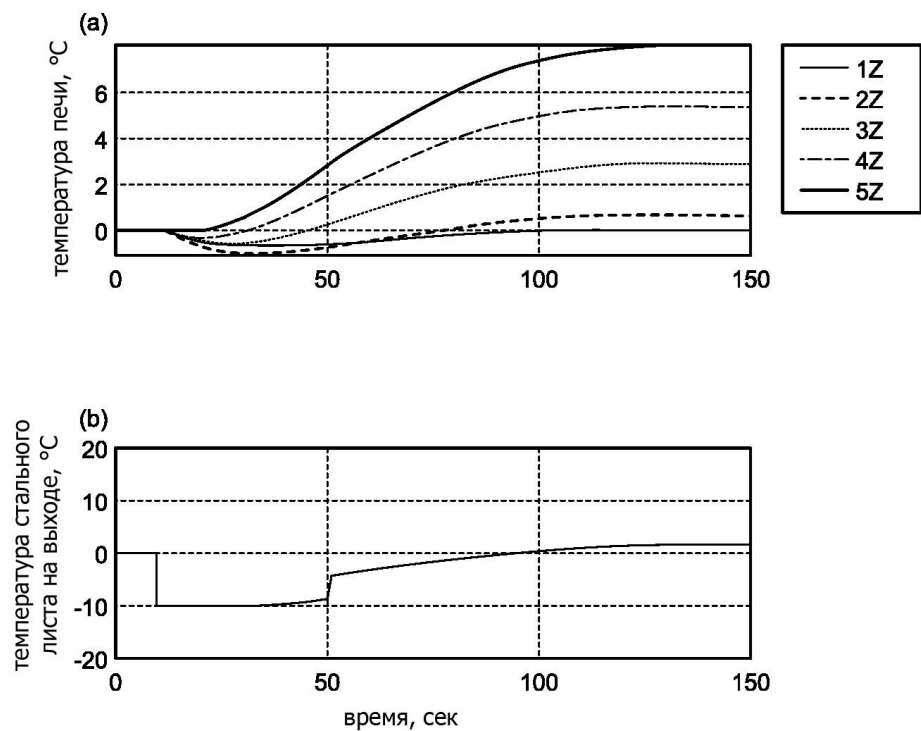


Рисунок 15 – График, показывающий температуру печи в каждой зоне нагрева и скорость изменения температуры при обычном способе управления

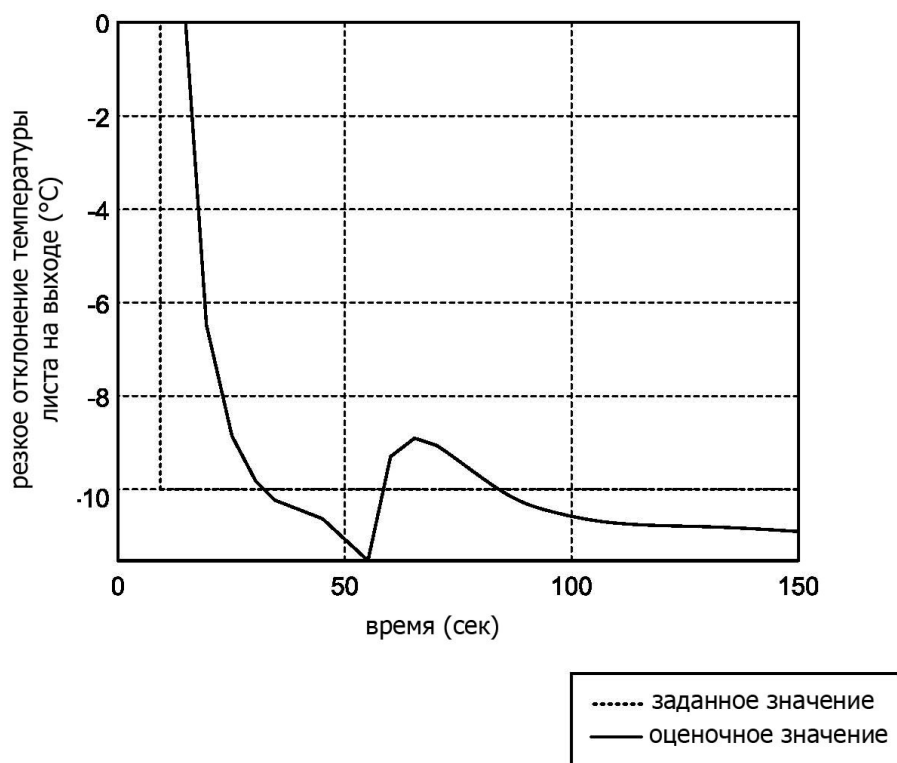


Рисунок 16 – график, демонстрирующий возмущающее воздействие по температуре стального листа на выходе нагревательной печи

(температуры печи) в каждой зоне нагрева нагревательной печи в каждый заданный период времени и посылает электрический сигнал, характеризующий замеренную температуру печи в каждой зоне нагрева, в блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия, блок 16 расчета величины изменения температуры печи и блок 17 регулирования температуры печи. Блок 13 вычисления коэффициента влияния получает заданное значение температуры стального листа на входе нагревательной печи, заданное значение температуры печи и заданное значение скорости прохождения листа в каждой зоне нагрева, которые поступают из управляющего компьютера 21 в ответ на получение команды на выполнение отжига стального листа. Блок 13 вычисления коэффициента влияния рассчитывает коэффициент влияния, характеризующий изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и

коэффициент влияния, характеризующий изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры стального листа в каждой зоне нагрева, используя информацию, полученную от управляющего компьютера 21. Затем блок 13 вычисления коэффициента влияния выдает электрический сигнал, характеризующий коэффициенты влияния, в блок 14 настройки модели регулирования. Ниже приводится описание способа расчета коэффициентов влияния.

Если заданное значение температуры стального листа на входе нагревательной печи равно  $T_{in}$ , заданное значение скорости прохождения листа равно  $V_s$ , и заданное значение температуры печи в каждой зоне нагрева равно  $T_{wi}$  (где  $i$  изменяется от 1 до 5), то температура  $T_s$  стального листа на выходе нагревательной печи будет описываться функцией  $T_s = f(T_{in}, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})$ . В данном примере функция  $f$  представляет собой уравнение тепловой модели стального листа в нагревательной печи, базирующееся на приведенном ниже уравнении (1). При расчете числового значения, уравнение (1) вычисляет разность путем дискретизации в соответствующем временном интервале  $\Delta t$ . В уравнении (1) используются следующие обозначения:  $\rho$  - удельная теплоемкость [ккал/кг/К] стального листа,  $C$  - удельный вес [кг/м<sup>3</sup>] стального листа,  $h$  - толщина [m] стального листа,  $T_s$  - температура [°C] стального листа,  $T_w$  - температура печи [°C],  $\phi_{cg}$  - общий коэффициент теплопередачи [-],  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $= 1.3565e-11$  [ккал/сек/м<sup>2</sup>/К<sup>4</sup>]), и  $t$  - время [сек].

$$\sigma \cdot C \cdot h \cdot \frac{\partial T_s(t)}{\partial t} = 2\phi_{cg} \cdot \sigma((T_w + 273.15)^4 - (T_s + 273.15)^4) \quad (1)$$

Блок 13 вычисления коэффициента влияния рассчитывает коэффициент влияния, используя информацию, полученную от управляющего компьютера 21, и с помощью приведенных ниже уравнений (2) - (7). В данном примере, уравнение (2) описывает коэффициент влияния, выражая изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие

изменения температуры стального листа на входе нагревательной печи, и  $d_1$  в уравнении (2) является переменной, характеризующей изменение температуры стального листа на входе нагревательной печи. Уравнения (3) - (7) показывают коэффициенты влияния, выражая изменение температуры стального листа на выходе нагревательной печи вследствие изменения температуры стального листа в каждой зоне нагрева.

$$\frac{\partial T_s}{\partial d_1} = \frac{f(T_{in}+d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5}) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta d_1} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w1}} = \frac{f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}+, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5}) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta T_{w1}} \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w2}} = \frac{f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}+, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5}) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta T_{w2}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w3}} = \frac{f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}+, T_{w4}, T_{w5}) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta T_{w3}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w4}} = \frac{f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}+, T_{w5}) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta T_{w4}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial T_{w5}} = \frac{f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5}+) - f(T_{in}, d_1, V_s, T_{w1}, T_{w2}, T_{w3}, T_{w4}, T_{w5})}{\Delta T_{w5}} \quad (7)$$

От управляющего компьютера 21 в блок 14 настройки модели регулирования поступают заданное значение скорости прохождения листа в каждой зоне нагрева и постоянная времени температуры печи. Блок 14 настройки модели регулирования рассчитывает уравнение модели регулирования, требующееся блоку 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия и блоку 16 расчета величины изменения температуры печи, используя информацию, полученную от управляющего компьютера 21. Затем блок 14 настройки модели регулирования посылает электрический сигнал, характеризующий параметр рассчитанного уравнения модели регулирования, в блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия и блок 16 расчета величины изменения температуры печи. Ниже приводится описание способа расчета уравнения модели регулирования.

Предполагается, что система регулирования с обратной связью основывается на разности между заданным и фактическим значениями температуры печи, и что систему регулирования температуры печи можно аппроксимировать с помощью динамической характеристики.

Предполагается также, что параметр времени перемещения можно линеаризовать с помощью Паде-аппроксимации. Однако порядок уравнения может быть соответствующим образом задан разработчиком.

Измеримым выходным сигналом системы регулирования температуры печи является переменная температуры печи  $\Delta T_{wi}$  в каждой зоне нагрева и температура  $T_s$  стального листа на выходе нагревательной печи. Если к температуре  $T_s$  стального листа добавляется неизвестная переменная  $d_2$ , характеризующая возмущающее воздействие на температуру стального листа на выходе нагревательной печи, температура  $T_s$  стального листа.

Затем блок 14 настройки модели регулирования посылает результат, полученный посредством дискретизации матриц в уравнении (7) (далее везде в непрерывном по времени представлении и в дискретном по времени представлении используются одинаковые обозначения), за период регулирования, в блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия и блок 16 расчета величины изменения температуры печи, как параметр уравнения модели регулирования.

Блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия оценивает параметр состояния и параметр возмущающего воздействия уравнения модели регулирования, вычисленные блоком 14 настройки модели регулирования для каждого периода регулирования, с помощью метода оценки, такого как алгоритм наблюдения и фильтр Кальмана, и посылает электрический сигнал, характеризующий оценочные значения, в блок 16 расчета величины изменения температуры печи. Если для оценки используется алгоритм наблюдения, блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия преобразует уравнение (7) в нижеприведенное



уравнение (6). Тогда блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия разрабатывает алгоритм наблюдения для системы.

Блок 16 расчета величины изменения температуры печи рассчитывает величину изменения температуры печи, таким образом, чтобы квадрат суммы отклонения фактического значения от заданного значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи был минимальным (иными словами, чтобы отклонение температуры стального листа на выходе нагревательной печи от заданного значения было минимальным), используя оценочные значения параметров состояния и значение возмущающего воздействия, полученные от блока 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия. Это приводит к проблеме минимизации целевой функции в условиях ограничения. Более конкретно, хотя уравнение (6) уже получено как уравнение модели регулирования, входной сигнал преобразуется в виде нижеприведенного уравнения (5) с целью введения ограничений по заданному значению температуры печи. В таком случае, блок 16 расчета величины изменения температуры печи вычисляет величину изменения температуры печи  $\Delta_u(k)$ , при которой изменение температуры  $T_s^2$  листа становится минимальным, используя уравнение модели регулирования. Это проблема оптимизации для расчета данных временного ряда величины изменения температуры печи  $\Delta_u(k)$  для минимизации оценочной функции, выражаемой следующим уравнением (4).

В рассматриваемом примере, значения, поступающие от блока 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия, используются как исходные значения переменной состояния и переменной возмущающего воздействия. В уравнении (3),  $x(k)T$  представляет собой транспозицию вектора.  $N$  в уравнении (2) является периодом прогнозирования и означает, что оценка будущего периода регулирования  $N$  производится с настоящего момента. Принимая  $Q = cT_c$  (где  $c$  - последняя строка, соответствующая температуре стального листа, в матрице  $[C F O_{6 \times 5}]$ ), с помощью оценочной функции можно минимизировать изменение температуры стального листа,

включая возмущающее воздействие на входе и выходе нагревательной печи. Кроме того, условия ограничения включают условия, относящиеся к верхнему и нижнему предельным значениям температуры печи, величине изменения температуры печи в единицу времени, максимальному и минимальному допустимым значениям расхода топлива, а также к величине изменения расхода топлива в единицу времени. Кроме того, можно получить соотношение между расходом топлива и заданным значением температуры печи  $u(k)$  и интегрировать это соотношение в условиях ограничения, или ограничить заданное значение температуры печи  $u(k)$ . Таким образом, можно интегрировать ограничение условий эксплуатации. Среди данных временного ряда величины изменения температуры печи  $\Delta u(k)$ , вычисляемых в данном процессе, блок 16 расчета величины изменения температуры печи выдает в блок 17 регулирования температуры печи величину изменения температуры печи  $\Delta u(0)$  первого времени.

Блок 17 регулирования температуры печи добавляет величину изменения температуры печи  $\Delta u(0)$  к целевому значению температуры печи в данный момент времени и устанавливает используемую величину расхода топлива в каждой зоне нагрева, необходимую для получения целевого значения. Предпочтительно, чтобы блок 13 вычисления коэффициента влияния, блок 14 настройки модели регулирования, блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия и блок 16 расчета величины изменения температуры печи каждый выполнял процесс для каждого заданного значения из множества значений скорости прохождения листа, которые могут приниматься во время фактической работы. Предпочтительно также, чтобы блок 17 регулирования температуры печи регулировал расход топлива, используемого в каждой зоне нагрева, для получения величины изменения температуры печи, рассчитанной по заданному значению скорости прохождения листа, близкой к фактической скорости прохождения листа.

Как видно из приведенного выше описания, в рассмотренном варианте реализации устройства 1 регулирования температуры стального листа согласно настоящему изобретению, блок 15 оценки параметров состояния и возмущающего воздействия одновременно оценивает значения параметра состояния и возмущения температуры модели регулирования. Кроме того, блок 16 расчета величины изменения температуры печи вычисляет величину изменения температуры печи в каждой зоне нагрева в условиях ограничения, таким образом, чтобы квадрат суммы отклонения фактического значения от заданного значения температуры стального листа на выходе нагревательной печи был минимальным, используя значения параметра состояния и возмущения температуры модели регулирования. Помимо этого, блок 17 регулирования температуры печи регулирует расход топлива, используемого в каждой зоне нагрева, для достижения расчетной величины изменения температуры печи. Таким образом, это позволяет регулировать температуру стального листа в нагревательной печи с высокой скоростью реакции и высокой точностью.

Эффективность способа, предлагаемого настоящим изобретением, была подтверждена моделированием. Заданные значения параметров стального листа указаны в нижеприведенной таблице 2. В качестве ограничивающего условия способа согласно настоящему изобретению принимается, что целевое значение изменения температуры печи [ $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ] во всех зонах нагрева должно быть меньше или равно  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ . Период прогнозирования  $N$  оценочной функции принимается равным 30. Для сравнения на рисунке 12 приведена схема примера конфигурации обычного способа регулирования температуры. Как показано на рисунке 12, в примере конфигурации обычного способа регулирования, изменение температуры листа вследствие возмущения температуры на входе нагревательной печи подавляется посредством регулирования с прямой связью (коррекции по прямой связи), а фактическое отклонение регулируемой температуры стального листа на выходе нагревательной печи подавляется посредством

пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования (коррекции по обратной связи). Оба способа регулирования являются независимыми друг от друга, и обычный способ регулирования отличается от способа, предлагаемого настоящим изобретением, тем, что корректировочные значения температуры печи не обмениваются друг с другом. При регулировании с прямой связью рассчитывается величина изменения температуры печи для устранения возмущения по температуре стального листа, возникающего на входе нагревательной печи и отражающегося на температуре стального листа на выходе нагревательной печи, с помощью коэффициентов влияния.

Для сравнения скорости реакции при возникновении возмущения при регулировании обычным способом и способом согласно настоящему изобретению, на фиг. 3 показано возмущение по температуре стального листа на входе и на выходе нагревательной печи. Температуры печи в зонах нагрева (зоны 1-5) и скорость изменения температуры стального листа на выходе нагревательной печи при способе регулирования показаны на рисунке 14(a) и 14(b). Температуры печи в зонах нагрева (зоны 1-5) и скорость изменения температуры стального листа на выходе нагревательной печи при обычном способе регулирования показаны на рисунке 15(a) и 15 (b). Как видно из рисунков 14(a) и (b), при способе регулирования согласно настоящему изобретению, температура стального листа на выходе нагревательной печи возвращается к заданному значению ( $0^{\circ}\text{C}$ ) не более чем через 60 секунд. Наоборот, как видно из рисунках 15(a) и (b), при обычном способе регулирования отклонение температуры стального листа на выходе нагревательной печи присутствует даже спустя 100 или более секунд.

Таким образом, было подтверждено, что при способе регулирования согласно настоящему изобретению время, необходимое для возвращения температуры стального листа на выходе нагревательной печи к заданному значению, является коротким, и отклонение регулируемого параметра при данном способе регулирования устранено. Различие между способом

регулирования согласно настоящему изобретению и обычным способом заключается также в направленности изменения температуры печи при возникновении возмущения по температуре стального листа на входе нагревательной печи. Иными словами, при обычном способе регулирования, даже когда температура стального листа на выходе нагревательной печи ниже заданного значения, при возникновении положительного возмущения по температуре стального листа на входе нагревательной печи температура печи понижается. Однако при изменении температуры стального листа на выходе нагревательной печи происходит обратный процесс. Таким образом, температура печи изменяется, и требуется время для её возвращения к заданному значению. И, наоборот, при способе регулирования согласно настоящему изобретению, даже при возникновении положительного возмущения по температуре стального листа на входе нагревательной печи, когда текущая температура стального листа на выходе нагревательной печи ниже заданного значения, температура печи не понижается, и регулирование происходит таким образом, что устраняется остаточная погрешность регулирования. Это достигается благодаря тому, что оценка возмущения по температуре стального листа на выходе нагревательной печи производится для каждого периода регулирования, как показано на рисунке 16, и вычисляется оптимальное значение рабочего параметра.

Несмотря на то, что в настоящем описании был рассмотрен конкретный вариант реализации настоящего изобретения, данное изобретение не ограничивается описанием и чертежами, входящими в настоящее описание и соответствующими рассмотренному варианту реализации. Иными словами, основанные на рассмотренном варианте реализации другие варианты, примеры и технологии, создаваемые и разрабатываемые специалистами в данной области.

## **Глава 3 Разработка перспективного процесса термообработки валов.**

### **3.1 Способ термообработки валов с использованием специальной электропечи.**

На качество проведения термообработки валов существенное влияние оказывает множество взаимосвязанных факторов. Подробно данные факторы рассмотрены в предыдущих главах данной работы. В качестве наиболее значимых из них следует отметить следующие факторы.

Неравномерность температурного поля внутри термопечи, в которой производится термообработка. Причинами такой неравномерности, как правило, является несовершенство конструкции печи, несовершенство нагревательных элементов, недостаточный мониторинг и регулирование температурного поля.

Неравномерность химического состава и структуры материала по длине и поперечному сечению валов. Такая неравномерность способствует формированию напряжений первого и второго рода в заготовках, снижая таким образом, качество термообработки. Особенно это опасно для маложестких валов.

Предлагается способ термообработки валов, который позволяет существенно снизить влияние данных факторов, и таким образом повысить качество термообработки. Схема электропечи для обработки валов показана ниже на рисунке 17. Сущность способа заключается в разделении на отдельные управляемые секции электропечи и вращении со скоростью 2-4 об./мин. обрабатываемого вала. Сочетание таких конструктивных и технологических решений позволяет существенно увеличить качество термообработки валов.

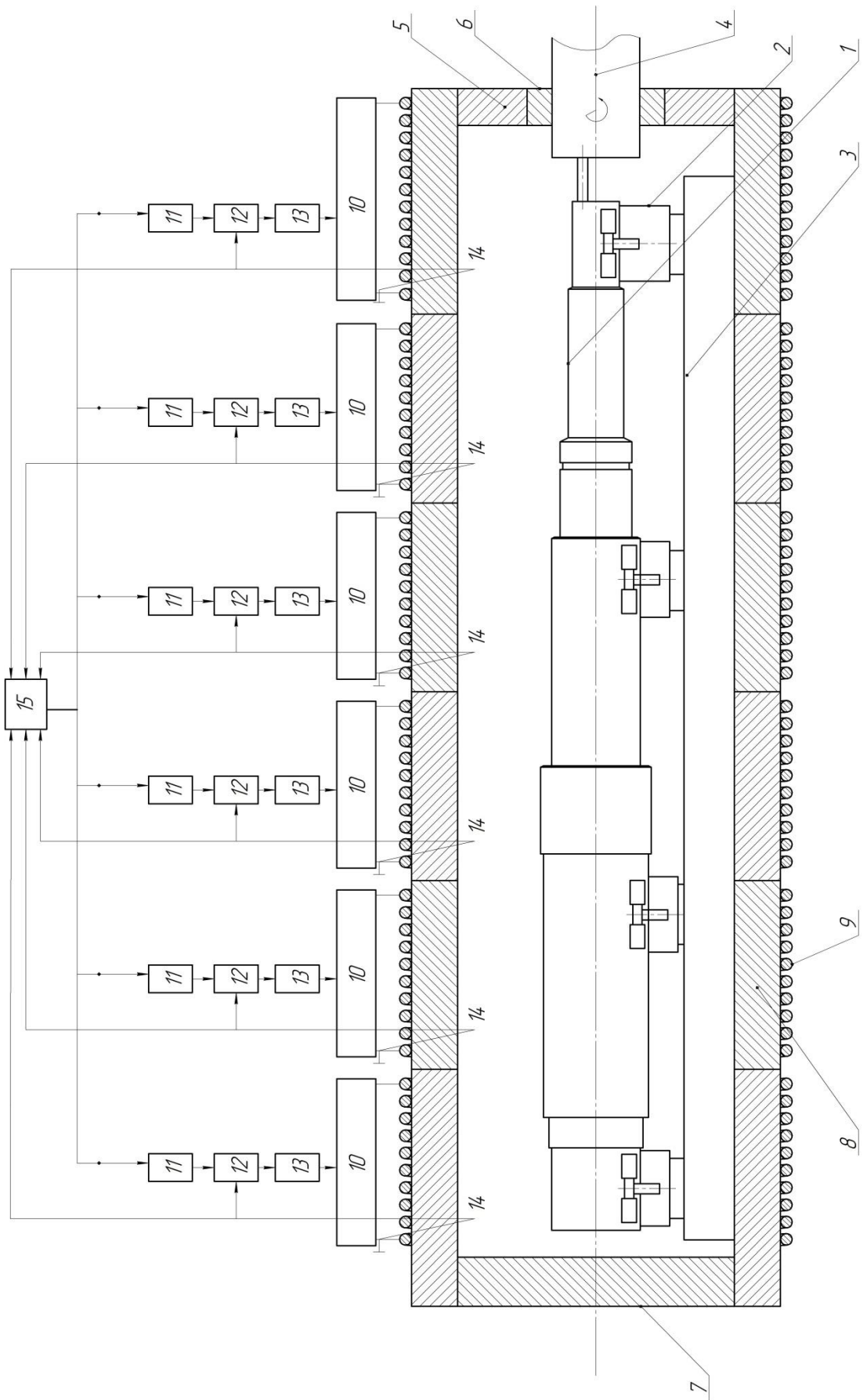


Рисунок 17 – Схема электропечи для обработки валов

Электропечь для обработки валов содержит обрабатываемую деталь – вал 1, установленный на люнеты 2, количество люнетов зависит от длины вала. Все люнеты 2 установлены на подложке 3. Вращение вала 1 осуществляется поводковым патроном 4 со скоростью 2-4 об./мин., который установлен в подшипнике скольжения 6, запрессованном в правой крышке 5. С другой стороны печь закрывается крышкой левой 7. На секциях 8, в виде трубы намотаны нагревательные элементы 9. Количество секций зависит от длины вала.

Работой нагревательных элементов 9 управляет нагреватель 10, на который приходит сигнал управления от управляющего устройства 15, через датчик режима работы секции 11, сравнивающее устройство 12 и усилитель 13. В каждой секции имеется собственная термопара 14, которая передает сигналы на сравнивающее устройство 12, где вырабатывается сигнал рассогласования для управления работой секции, и на управляющее устройство 15, для отслеживания работы всех секций и выработки управляющих воздействий в случае необходимости.

Процессы, протекающие в печи достаточно инертны, и не требуют применения специальных высокоскоростных управляющих элементов и исполнительных механизмов. Вращение вала с небольшой скоростью при термообработке позволяет равномерно распределить воздействие температурного поля на материал детали.

На рисунке 18 показан общий вид термопары, применяемой в данной печи. На рисунке 19 показан общий вид нагревательных элементов, применяемых в данной печи.

Поводковый патрон 4 должен быть выполнен из жаропрочной стали и своим хвостовиком должен быть установлен в подшипник скольжения 5. Для передачи вращения валу 1 патрон имеет в своей конструкции стержень, который должен вставляться в ответное отверстие, которое необходимо просверлить в торце вала.





Рисунок 18 – Общий вид термопары

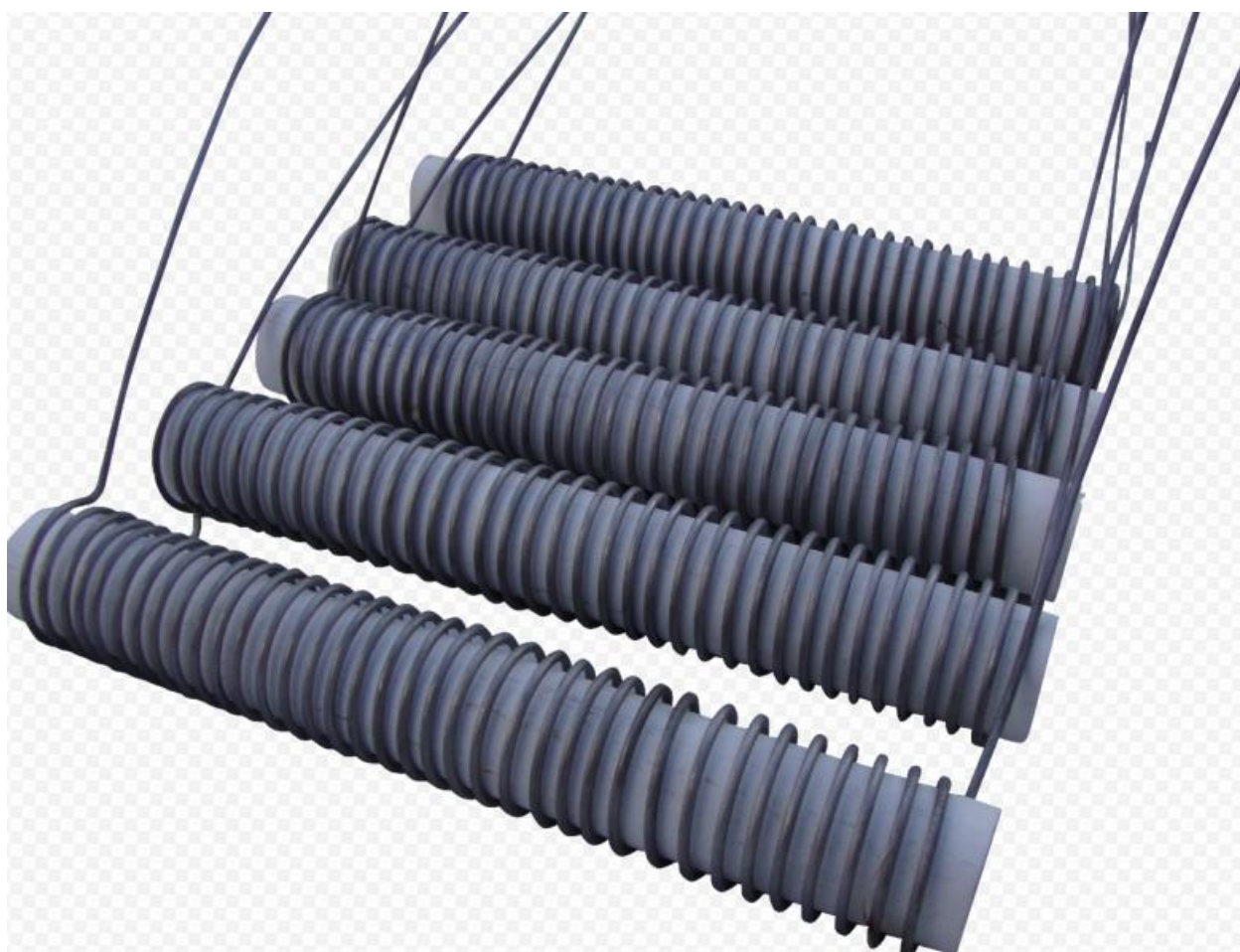


Рисунок 19 – Общий вид нагревательных элементов

Биение вала при вращении можно не учитывать, так как оно в данном случае не влияет на точность термообработки. Патрон целесообразнее всего приводить в движение при помощи тихоходного червячного мотор -

редуктора. Общий вид поводкового патрона показан на рисунке 20, а общий вид мотор – редуктора на рисунке 21.



Рисунок 20 – Общий вид поводкового патрона

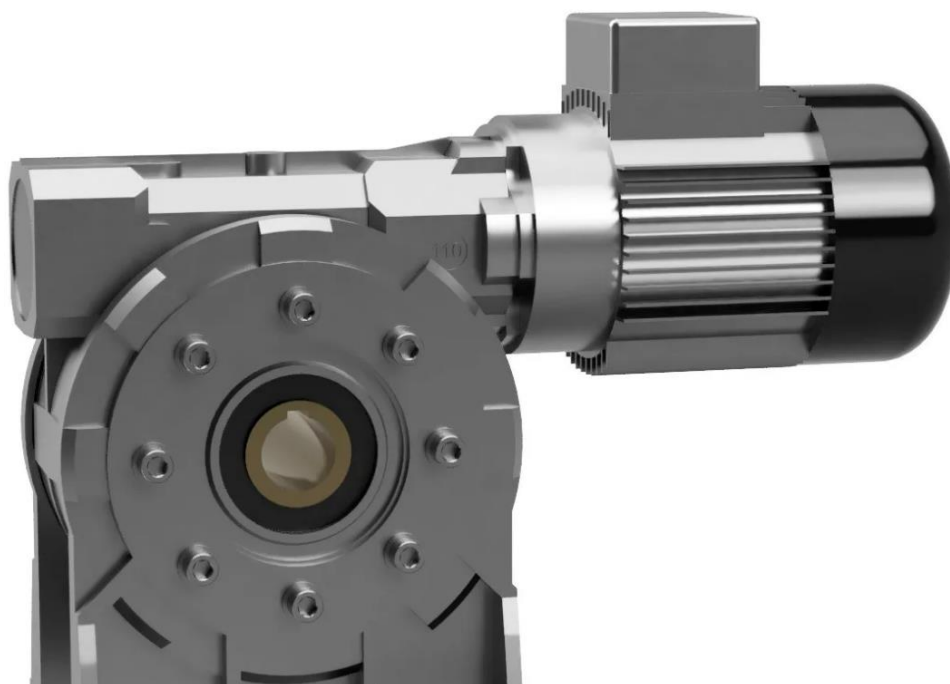


Рисунок 21 – Общий вид мотор – редуктора

### **3.2 Мероприятия по безопасности при термообработке валов с использованием специальной электропечи.**

Предупреждение профессиональных заболеваний и отравлений на производстве достигается разработкой технологических процессов, в которых вредные вещества заменяются безвредными, а также модернизацией технологического оборудования и его усовершенствованием, медико-профилактическими мероприятиями.

На каждом предприятии должен осуществляться систематический контроль состояния воздуха рабочей зоны. Генеральным планом определяется необходимая территория, размещение на ней строений и сооружений, их габаритные размеры, инженерные сооружения и благоустройство участка предприятия.

Планировка строений и сооружений на территории предприятий, наличие достаточных санитарных и противопожарных рвов и препятствий, обеспечение безопасной эвакуации людей, различные вспомогательные устройства (отопление, освещение, вентиляция и др.) регламентируются в соответствии с требованиями санитарных норм.

Загазованность и запылённость помещений, которые находятся на производственной территории, зависит от условий естественного проветривания. Поэтому не рекомендуется строить сооружения сложной конфигурации, особенно П и Ш-образной формы, а также сооружения с замкнутыми дворами.

Оборудование водоснабжения для хозяйственно – бытовых, производственных и противопожарных целей выбирают в соответствии с требованиями действующих санитарных норм.

Источники водоснабжения и качество воды регламентируются государственными стандартами и санитарными нормами в зависимости от целей, на которые используется вода.

Все производственные и вспомогательные помещения должны

вентилюроваться.

Вентиляция – это совокупность мероприятий и средств, которые обеспечивают расчетный воздухообмен в помещениях. Целью вентиляционных мероприятий является обеспечение чистоты воздуха и необходимых метеорологических условий в производственных помещениях.

В зависимости от того, с какой целью работает система вентиляции, - для поступления или удаления воздуха из помещения или для того и другого одновременно, она может быть приточной, вытяжной или приточной - вытяжной. По месту действия вентиляция бывает обще обменной и локальной.

К числу распространенных опасных факторов, имеющих место на производстве, относятся грузоподъемные механизмы и машины, сосуды давления, котлы, трубопроводы, механическое и транспортное оборудование, их подвижные и вращающиеся части, электрические установки, кабели и провода, которые могут быть причиной поражения электрическим током, ядовитые, удушающие и взрывоопасные газы, пожары, природные явления.

К вредным факторам, относятся факторы, действие которых на работника может привести к заболеванию. Опасные и вредные производственные факторы по природе действия подразделяются на физические (движущиеся машины и механизмы, вибрация и производственный шум, повышенная скорость воздуха, недостаточное освещение, наличие в воздухе пыли и вредных газов), химические (обще токсические, канцерогенные, раздражающие, влияя на репродуктивную функцию), биологические (микроорганизмами), психофизиологические (физические перегрузки, нервно-психические перегрузки).

Наличие некоторых опасностей, таких как, ураган, шторм, является следствием независящих от человека причин и явлений. Такие явления не всегда можно предотвратить и предсказать. Но в абсолютном большинстве опасности и вредность возникают в процессе производства по причинам организационного и технического характера. Они полностью зависят от

работодателя, проектировщиков, производителей оборудования, инженерно-технического персонала служб охраны труда и, наконец, самих работников.

Производственный травматизм классифицируется по следующим признакам: по степени связи с производством, по числу пострадавших, по степени тяжести травм по характеру воздействия на человека и характера повреждений.

По степени связи с производством несчастные случаи подразделяются на случаи, связанные с производством и случаи непромышленного характера.

По числу пострадавших различают одиночные и групповые несчастные случаи. К групповым относятся случаи, которые произошли одновременно с двумя и более работниками, независимо от степени тяжести несчастного случая с каждым из потерпевших.

По степени тяжести травм несчастные случаи могут быть со смертельным исходом и без него.

На предприятии должны быть разработаны планы предупреждения и ликвидации возможных аварий.

Защита окружающей среды в производственной деятельности - это комплекс мер, направленных на недопущение загрязнения окружающей среды вредными факторами производства.

В существующем законодательстве много внимания уделяется вопросам охраны окружающей среды. Ужесточение требований к производству и материалам, а также разработка новых производственных и утилизационных технологий позволят уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Большую роль в повышении производительности труда играет правильная организация рабочего места. Рабочее место – это часть производственной площади, оснащенная всеми необходимыми орудиями и средствами труда, в том числе вспомогательными устройствами и приспособлениями, предназначенными для выполнения определенной

работы.

### 3.3 Определение экономических показателей термообработки валов с использованием специальной электропечи.

Целью раздела является экономическое обоснование целесообразности внедрения разработанного технологического процесса термообработки детали «Вал». Для решения поставленной цели используются учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела выпускной квалификационной работы [19]. На основе этого пособия составлен алгоритм последовательности выполнения необходимых расчетов, для определения экономической эффективности. Визуализация этого алгоритма представлена на рисунке 22.



Рисунок 22 – Алгоритм последовательности экономических расчетов

Расчет элементов технологической себестоимости состоит из определения ряда экономических показателей, которые представлены на рисунке 23.

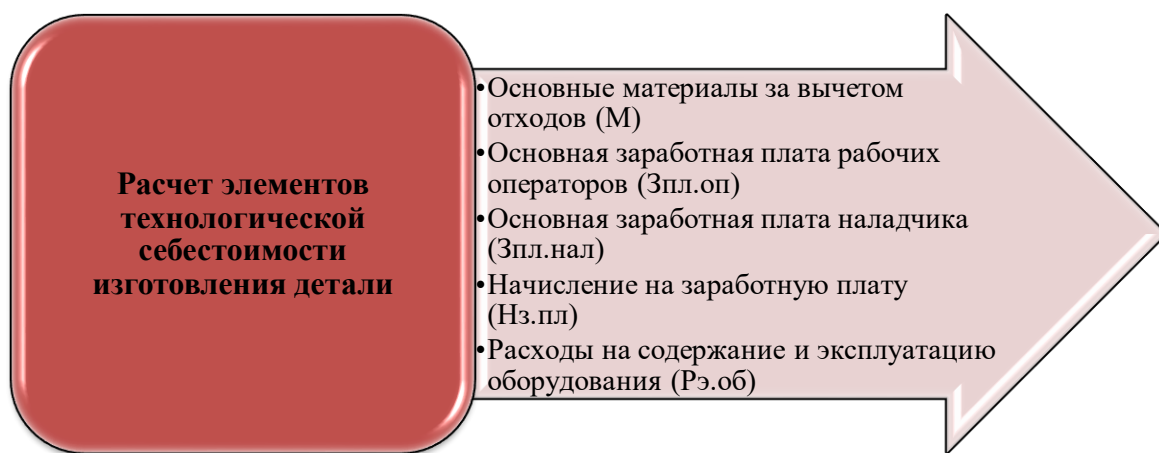


Рисунок 23 – Экономические показатели, входящие в технологическую себестоимость

Результаты расчетов экономических показателей представлены на рисунке 24.

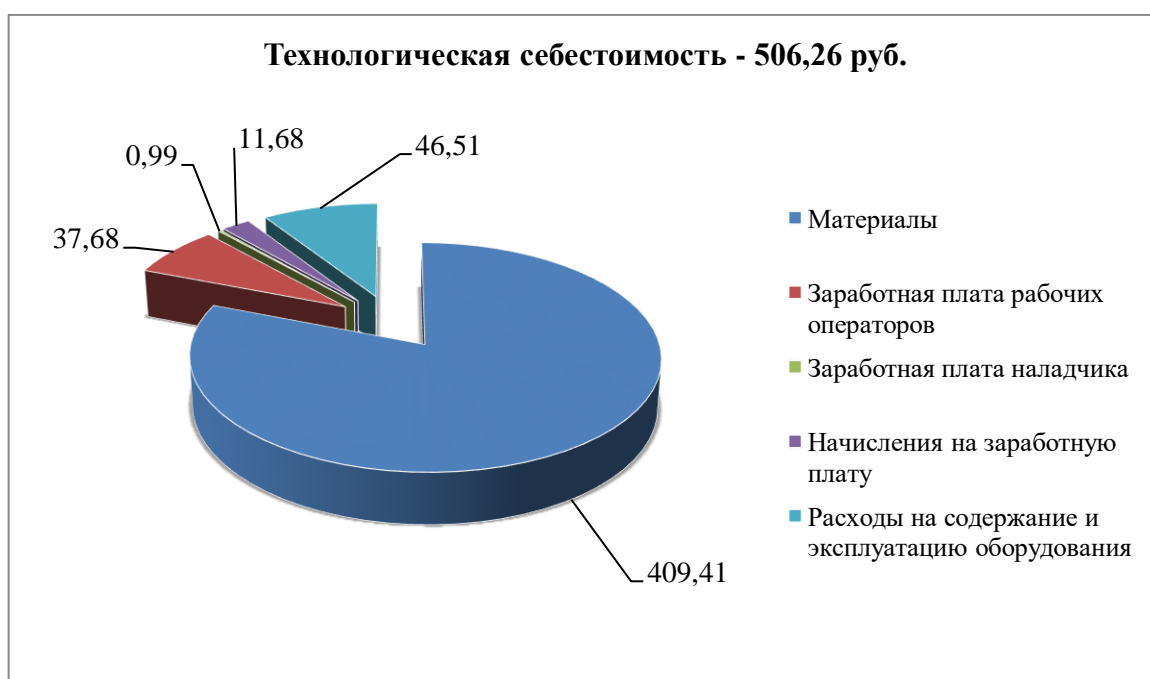


Рисунок 24 – Расчет элементов технологической себестоимости термообработки детали «Вал»

Анализируя рисунок 24, можно сказать, что максимальное влияние на величину технологической себестоимости оказал такой показатель как основные материалы за вычетом отходов, его доля составила 80,9%.

Пункт «калькуляция себестоимости изготовления детали» так же состоит из определения ряда экономических показателей, которые представлены на рисунке 25.

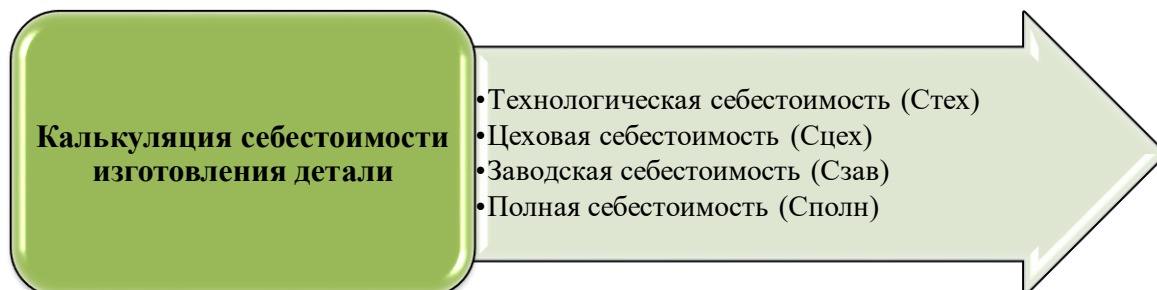


Рисунок 25 – Экономические показатели, входящие в технологическую себестоимость

В результате проведенных расчетов, был определен размер полной себестоимости термообработки, которая составила 648,94 рублей.

Как и все предыдущие пункты алгоритма последовательности экономических расчетов, пункт «Расчет капитальных вложений в технологический процесс», также имеет обязательное определение ряда показателей, которые представлены на рисунке 26.

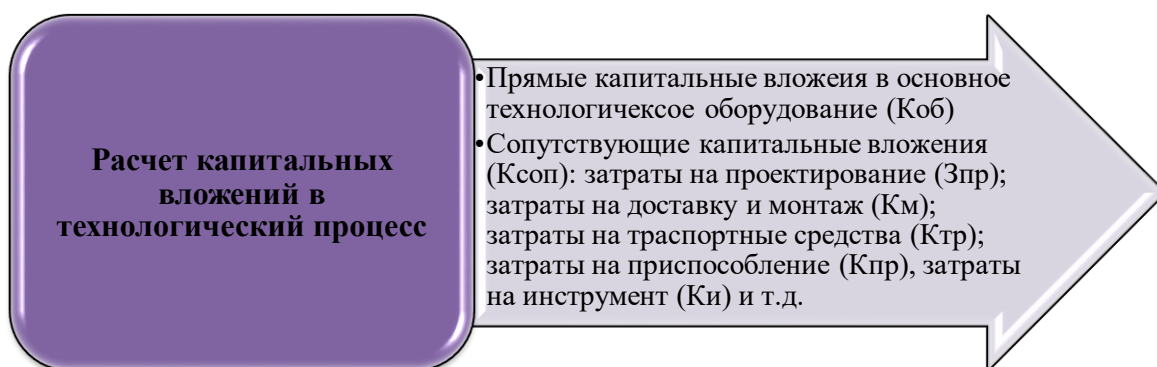


Рисунок 26 – Экономические показатели, из которых состоят капитальные вложения



Результаты расчетов экономических показателей представлены на рисунке 27.

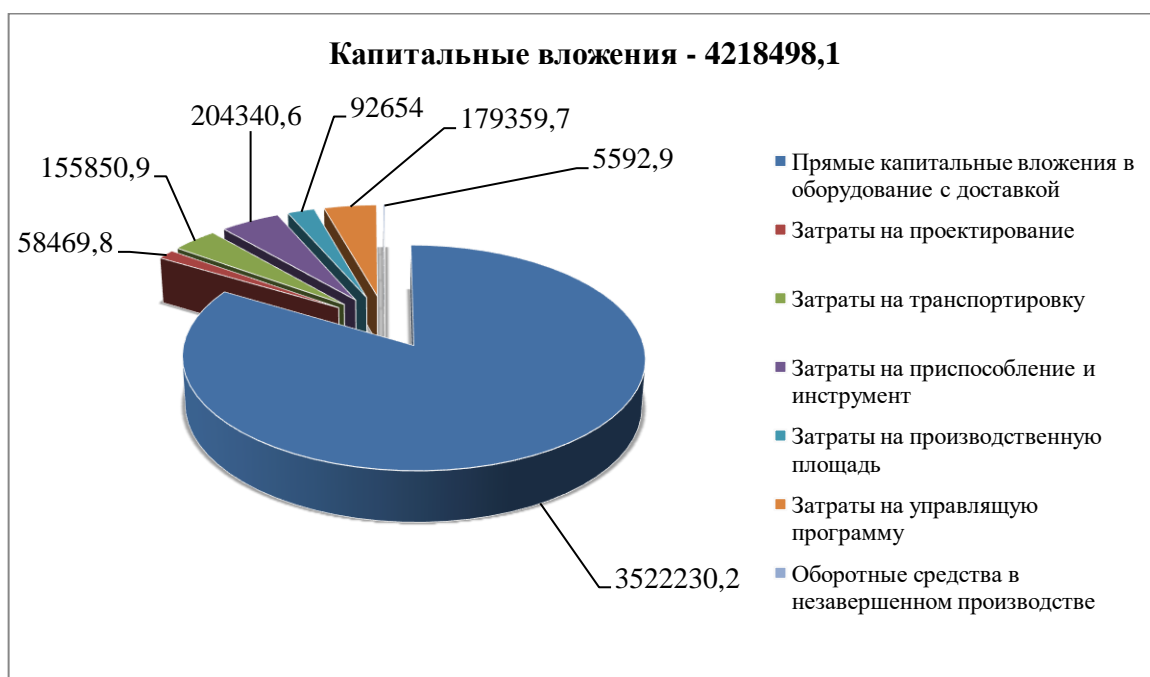


Рисунок 27 – Расчет капитальных вложений в технологический процесс термообработки детали «Вал»

Анализируя рисунок 27, можно сказать, что максимальное влияние на величину капитальных вложений оказал такой показатель как прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование с учетом доставки, их доля составила 73,89%.

Последний пункт алгоритма тоже имеет ряд обязательных расчетов соответствующих экономических показателей, которые представлены на рисунке 28.

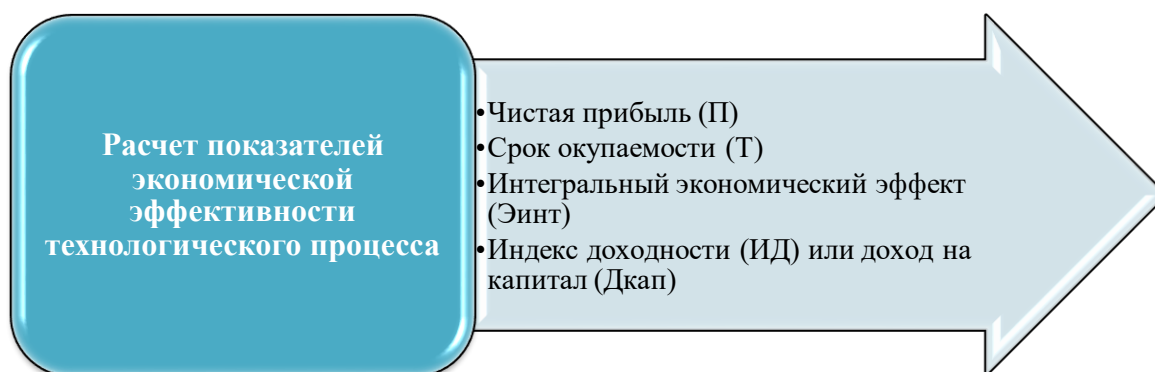


Рисунок 28 – Показатели, необходимые для расчета экономической эффективности

Значения, описанных на рисунке 28 показателей, применительно к анализируемому технологическому процессу представлены на рисунке 29.



Рисунок 29 – Показатели экономической эффективности технологического процесса изготовления детали «Вторичный вал»

Анализируя представленные на рисунке 29 показатели, можно сделать вывод о том, предложенный технологический процесс термообработки детали «Вал» является эффективным, т.к. интегральный экономический эффект является положительной величиной и составляет 503275,64 рублей. Инвестиции, вложенные в технологический процесс, окупятся в течение 4 лет, обеспечив прибыль на каждый вложенный рубль в размере 1,12 рублей.

## Заключение

Для определения влияния типа стали на технологические характеристики термообработки валов необходимо проведен анализ современного уровня развития данного направления производства. Наиболее эффективными методами такого анализа являются литературный и патентный обзоры. Проведенные обзоры показали необходимость применения автоматического управления параметрами термообработки валов для обеспечения высокого качества процесса.

На качество проведения термообработки валов существенное влияние оказывает множество взаимосвязанных факторов. Подробно данные факторы рассмотрены в предыдущих главах данной работы. В качестве наиболее значимых из них следует отметить следующие факторы.

Неравномерность температурного поля внутри термопечи, в которой производится термообработка. Причинами такой неравномерности, как правило, является несовершенство конструкции печи, несовершенство нагревательных элементов, недостаточный мониторинг и регулирование температурного поля.

Неравномерность химического состава и структуры материала по длине и поперечному сечению валов. Такая неравномерность способствует формированию напряжений первого и второго рода в заготовках, снижая таким образом, качество термообработки. Особенно это опасно для малоэластичных валов.

Процессы, протекающие в печи достаточно инертны, и не требуют применения специальных высокоскоростных управляющих элементов и исполнительных механизмов. Вращение вала с небольшой скоростью при термообработке позволяет равномерно распределить воздействие температурного поля на материал детали.

Таким образом, по магистерской диссертации можно сделать следующие выводы:

1. Тип стали оказывает существенное влияние на технологические характеристики термообработки.
2. Без автоматического управления параметрами термообработки валов невозможно обеспечить высокое качество процесса.
3. Разработан перспективный технологический процесс термообработки валов.
4. Разработаны мероприятия по безопасности при термообработке валов с использованием специальной электропечи
5. Определены экономические показатели термообработки валов с использованием специальной электропечи

Тогда, цель магистерской диссертации: повышение качества изготовления валов путем совершенствования процесса термообработки можно считать достигнутой.

## Список используемых источников

- 1 Аверченков В.И. Основы научного творчества. [Электронный ресурс] / В.И. Аверченков, Ю.А. Малахов. — Электрон. дан. — М. : ФЛИНТА, 2011. — 156 с.
- 2 Авлукова Ю.Ф. Основы автоматизированного проектирования. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Минск : "Высшая школа", 2013. — 217 с.
- 3 Агамиров Л.В. Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов. Том II-1. [Электронный ресурс] / Л.В. Агамиров, М.А. Алимов, Л.П. Бабичев, М.Б. Бакиров. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2010. — 852 с.
- 4 Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. [Электронный ресурс] / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. — Электрон. дан. — Минск : Новое знание, 2012. — 488 с.
- 5 Астанин В.В. Техническая механика: в четырех книгах. Книга вторая. Сопротивление материалов: учебное пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2012. — 160 с.
- 6 Бахолдин А.М. Техническая механика. Сопротивление материалов. (теория и практика). [Электронный ресурс] / А.М. Бахолдин, О.М. Болтенкова, О.Ю. Давыдов. — Электрон. дан. — Воронеж : ВГУИТ, 2013. — 172 с.
- 7 Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в машиностроении. [Электронный ресурс] / В.Ф. Безъязычный, В.Н. Крылов, Ю.К. Чарковский, Е.В. Шилков. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 432 с.
- 8 Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении: учебное пособие.

[Электронный ресурс] / В.Ф. Безъязычный, М.Л. Кузменко, В.Н. Крылов, А.В. Лобанов. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2007. — 539 с.

9 Блюменштейн В.Ю. Проектирование технологической оснастки. [Электронный ресурс] / В.Ю. Блюменштейн, А.А. Клепцов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2014. — 224 с.

10 Бокштейн Б.С. Физическая химия: термодинамика и кинетика. [Электронный ресурс] / Б.С. Бокштейн, М.И. Менделев, Ю.В. Похвиснев. — Электрон. дан. — М. : МИСИС, 2012. — 258 с.

11 Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2007. — 736 с.

12 Быков В.В. Исследовательское проектирование в машиностроении. [Электронный ресурс] / В.В. Быков, В.П. Быков. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2011. — 256 с.

13 Вивденко Ю.Н. Технологические системы производства деталей наукоемкой техники: Учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2006. — 559 с.

14 Гарифуллин Ф.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] / Ф.А. Гарифуллин, Р.Ш. Аюпов, В.В. Жилияков. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2013. — 248 с.

15 Грызунов В.И. Металлургическая теплотехника. [Электронный ресурс] / В.И. Грызунов, Н.В. Фирсова, С.Е. Крылова, Е.Ю. Приймак. — Электрон. дан. — М. : ФЛИНТА, 2014. — 108 с.

16 Гусев А.А. Проектирование технологической оснастки. [Электронный ресурс] / А.А. Гусев, И.А. Гусева. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2013. — 416 с.

17 Дуваров В.Б. Технология конструкционных материалов. [Электронный ресурс] / В.Б. Дуваров, Т.В. Хмеленко. — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. — 115 с.

18 Ермолаев В.А. Технологические процессы в машиностроении: конспект лекций: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : НИЯУ МИФИ, 2011. — 264 с.

19. Зубкова Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей (для студентов специальностей 120100 / Н.В. Зубкова,– Тольятти: ТГУ, 2015, 46 с.

20. Исакова, И.В. Основы инженерного творчества. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2013. — 63 с.

21 Киселев А.П. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / А.П. Киселев, А.А. Крашенников, А.А. Фатина. — Электрон. дан. — СПб. : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2014. — 42 с.

22 Локощенко А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2016. — 504 с.

23 Маталин А.А. Технология машиностроения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 512 с.

24 Новиков И.И. Металловедение: В 2 т-х. Т. 1. Основы металловедения; Т. 2. Термическая обработка. Сплавы. [Электронный ресурс] / И.И. Новиков, В.С. Золоторевский, В.К. Портной, Н.А. Белов. — Электрон. дан. — М. : МИ-СИС, 2014. — 1020 с.

25 Неведров А.В. Основы научных исследований и проектирования : учеб. Пособие. [Электронный ресурс] / А.В. Неведров, А.В. Папин, Е.В. Жбырь. — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2011. — 108 с.

26 Патент № 2691819. Устройство для регулирования температуры стального листа и способ регулирования температуры.

27 Патент №2731116. Способ динамического регулирования процесса производства термообработанного стального листа.

28 Патент №2710825. Устройство и способ для управления печью, исходя из измерений образовавшейся окалины.

29 Патент №2699698. Установка для определения охлаждающей способности технологической среды.

30 Патент №2766914. Система для закалки катаной металлической полосы (варианты) и способ закалки катаной металлической полосы.

31 Патент №2692359. Способ проведения испытаний материала для труб из стали, подлежащих обработке теплом, влияющим на механические свойства.

32 Суслов А.Г. Научно-технические технологии в машиностроении. [Электронный ресурс] / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный, Ю.С. Авраамов. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2012. — 528 с.

33 Титов А.В. Исследование физико-механических характеристик деформируемых материалов: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / А.В. Титов, Е.Ю. Ремшев, В.П. Белогур. — Электрон. дан. — СПб. : БГТУ "Воен-мех" им. Д.Ф. Устинова, 2013. — 110 с.

34 Титух И.Н. Устойчивость механических систем. Статика: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / И.Н. Титух, С.П. Яковлев. — Электрон. дан. — СПб. : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2014. — 121 с.

35 Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Комплект в двух томах: Книга 1. Машины и механизмы: Учебно-практическое пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. — 400 с.

36 Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Комплект в двух томах: Книга 2. Проектирование машин и их деталей: Учебно-практическое пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. — 400 с.

37 Филонов И.П. Инновации в технологии машиностроения. / И.П. Филонов, И.Л. Баршай. — Электрон. дан. — Минск : "Высшая школа", 2009. — 110 с.



38 Чулков В.А. Методология научных исследований.— Пенза : ПензГТУ, 2014. — 200 с.

39 Влияние несоосности при термосиловой обработке на коробление готовой детали. Межвузовский сборник научных трудов. Часть 2. Тольятти 2000 год. Воронов Д.Ю., Драчёв О. И., Бобровский А.В.

40 Пути снижения коробления маложестких валов, путем применения термосиловой обработки. Журнал «Машиностроитель» № 6, 2001 год Воронов Д.Ю., Драчёв О. И.

41 Динамическая модель термосиловой обработки, как объекта управления. Проблемы современного машиностроения. Сборник к 40-летию Машиностроительного факультета. Тольятти 2001 год. Воронов Д.Ю Драчёв О. И. Расторгуев Д.А.

42 Влияние осевой пластической деформации на коробление готовой детали. Проблемы современного машиностроения. Сборник к 40-летию Машиностроительного факультета Тольятти 2001 год. Воронов Д.Ю Драчёв О. И. Расторгуев Д.А.

43 Новая технология термосиловой обработки маложестких валов. Журнал «Известия» №1, стр. 32-35. Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении» Волгоградского государственного технического университета. Волгоград 2004 год. Воронов Д.Ю., Драчёв О. И. Расторгуев Д.А.

44 Установка для контроля геометрии маложестких деталей. Тольяттинский государственный университет, 2006 г. Автоматизация технологических процессов и производственный контроль: Сб. докл. Международной научно-технической конференции 23-25 мая. Ч 1.- Тольятти: ТГУ, 2006г. Воронов Д.Ю., Диткин И.А., Пахоменко А.Н.

45 Лабораторные испытания по оценке влияния параметров ТСО на коробление валов. Тольяттинский государственный университет, 2006 г. Автоматизация технологических процессов и производственный контроль: Сб. докл. Международной научно-технической конференции 23-25 мая. Ч 1.-

Тольятти: ТГУ, 2006г. Воронов Д.Ю., Диткин И.А., Драчев О.И., Пахоменко А.Н., Расторгуев Д.А.

46 Измерения кривизны маложестких валов в цеховых условиях. Тольяттинский государственный университет, 2006 г. Автоматизация технологических процессов и производственный контроль: Сб. докл. Международной научно-технической конференции 23-25 мая. Ч 1.- Тольятти: ТГУ, 2006г. Воронов Д.Ю., Диткин И.А., Драчев О.И., Пахоменко А.Н., Расторгуев Д.А.

47 Разработка технологического процесса обработки холодом маложестких валов». Тольяттинский государственный университет 2009 г. «Проведение научных исследований в области машиностроения». Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. Воронов Д.Ю., И.В. Лебедева, А.В. Мальцева, К.А. Репин.

48 Методика проведения экспериментальных исследований параметров обработки холодом на геометрическую точность маложестких валов. Тольяттинский государственный университет 2009 г. «Проведение научных исследований в области машиностроения». Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. Воронов Д.Ю., К.А. Репин, А.Р. Хасанов.

49 Лабораторные испытания по оценке влияния параметров ТСО на коробление маложестких валов и измерение кривизны маложестких валов в цеховых условиях. Тольяттинский государственный университет 2009 г. «Проведение научных исследований в области машиностроения». Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. Воронов Д.Ю., И.А. Диткин, Е.С. Диткина, Л.В. Ольховская.

50 Испытания по оценке влияния параметров термосиловой обработки на коробление валов и измерение кривизны маложестких валов в цеховых

условиях. Казанская наука. №10 2010г.-Казань: Издательство Казанский Издательский Дом. Воронов Д.Ю., Логинов Н.Ю.

51 Устройство для термосиловой обработки. Патент на изобретение от 10.07.04. № 2232198. Воронов Д.Ю., Драчёв О. И. Расторгуев Д.А.

52 Способ термосиловой обработки длинномерных осесимметричных деталей и устройство для его осуществления. Патент на изобретение от 20.06.05. № 2254383. Воронов Д.Ю., Драчёв О. И. Расторгуев Д.А.

53 Устройство для термосиловой обработки осесимметричных деталей. Патент на изобретение от 20.09.05. № 2260628. Воронов Д.Ю., Драчёв О. И., Расторгуев Д.А.

54 Дидык Е.О., Воронов Д.Ю. Определение резонансных частот комплексных колебаний при термосиловой обработке. «Студенческий форум» №23(116).

55 Koch C.C. Bulk Behavior of Nanostructured Materials. //North Carolina State University Annals. 2002. Chapter 6. P.184-232.

56 Panckow, A.N. Application of novel vacuum-arc ion-plating technologies for the design of advanced wear resistant coatings. /A.N. Panckow, J. Steffenhagen, D. Wegener, L. Dubner, F. Lierath. //Surface and Coating Technologies 138 (2001). - P. 71-76.

57 Okumiya, M. Mechanical properties and tribological behavior of TiN-CrAlN and CrN-CrAlN multilayer coatings. /M. Okumiya, M. Gripenrog.// Surface and Coat-ing Technologies 112 (1999). - P.123-128.

58 Byrne, G. Advancing Cutting Technology. / G.Byrne, D.Dornfeld, B. Denke-na. // CIRP Annals. Vol 52/2/2003.

59 Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Ac-ta mater.2000. V.48. P.1-29.