

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

**Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического
оборудования**

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Влияние параметров химико – термической обработки на свойства
штулки цилиндрической бурового насоса»

Студент(ка)

А.Ю.Писканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.П. Сидоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы: д.т.н, профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н, профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

Содержание

Введение	4
1. Устройство буровых насосов и конструкция втулки цилиндрической	6
1.1 Общие сведения о буровых насосах	6
1.2 Устройство и принцип действия поршневых насосов	7
1.3 Описание втулки цилиндрической буровых насосов	13
1.4 Условия эксплуатации втулки цилиндрической	16
1.5 Характерные виды повреждаемости втулки цилиндрической при эксплуатации	18
2. Современные методы термической и химико – термической обработки деталей гидропоршневой группы буровых насосов	35
2.1 Поверхностная закалка с нагревом токами высокой частоты	35
2.2 Анализ методов объёмного упрочнения	37
2.3 Химико – термическая обработка	39
3. Материал и методика исследования	47
3.1 Материал, технология и оборудование для химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора	47
3.2 Наноструктурированный катализатор – основной компонент аппаратного метода	59
3.3 Основные преимущества предлагаемого аппаратного метода	66
3.4 Методы исследования процесса химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора	68
4. Исследование влияния параметров химико – термической обработки на свойства втулки цилиндрической	72
4.1 Исследование влияния процесса газового азотирования	

в наноструктурированном катализаторе на свойства упрочненного слоя втулки цилиндрической	72
4.1.1 Исследование свойств упрочненного слоя втулки цилиндрической, после азотирования в установке «Корунд»	73
4.1.2 Исследования уровня и распределения остаточных напряжений в упрочненном слое цилиндрических образцов после азотирования в установке «Корунд»	77
4.1.3 Исследование износостойкости втулки цилиндрической после азотирования в установке «Корунд»	79
Общие выводы	83
Заключение	86
Список используемых источников.	87
Приложение А	92
Приложение Б	93
Приложение В	94
Приложение Г	97

Введение

Долговечность работы буровых насосов во многом определяется гидравлической частью – парой «поршень – втулка цилиндрическая», взаимодействующих с буровым раствором.

Задача по обеспечению длительного ресурса надежной работы машин, работающих в условиях повышенного гидроабразивного износа под действием сил трения, на сегодняшний день недостаточно решена. Выход из строя, снижение эффективной работы бурового насоса (нагнетание в забой бурового раствора) в связи с износом втулки цилиндрической, вызывает повышенный износ и разрушение бурильных долот, закупорку всего дорогостоящего, скважинного оборудования внутри самой скважины. Средняя наработка втулки цилиндрической, составляет 100 часов, вместо требуемых 800 – 1000 часов [1]. Как следствие, повышается норма расхода бурильных долот и увеличивается количество случаев капитального ремонта скважин. Все это вызывает увеличение себестоимости процесса добычи нефти или газа [2].

В процессе эксплуатации основным дефектом, снижающим долговечность пары «поршень – втулка цилиндрическая», являются продольные глубокие риски глубиной до 1,5 мм (выработка) на поверхности трения втулки цилиндрической, поперечная выработка [1].

В настоящее время этот дефект является определяющим рабочий ресурс втулки цилиндрической. Для увеличения износостойкости втулки цилиндрические упрочняются различными методами, но износ рабочей поверхности все – таки остается неснижаемым критическим показателем. Об этом свидетельствует малое количество часов её наработки в насосе.

Очевидно, что первостепенное значение имеет более качественное упрочнение рабочей поверхности втулки цилиндрической, с учетом всестороннего анализа дефектов поверхности, возникающих в процессе эксплуатации. Однозначно, повышение прочностных характеристик при упрочнении втулки, увеличит ресурс работы всего бурового насоса [3].

В связи с этим актуальной явилась задача исследования механизма износа рабочей поверхности втулки цилиндрической в процессе работы бурового насоса. Что в свою очередь, позволит разработать технологию упрочнения, обеспечивающую увеличение эксплуатационного ресурса.

Целью настоящей работы является повышение износостойкости втулок, путем исследования механизма и причин разрушения их рабочей поверхности и создание на основе этого эффективной технологии поверхностного упрочнения.

1. Устройство буровых насосов и конструкция втулки цилиндрической

1.1 Общие сведения о буровых насосах

Буровая установка (также может называться комплексом или машиной) – это специальная установка, главной целью которой является бурение скважин для нефтегазовой индустрии. Основные составляющие части машины [4]:

- 1) буровая вышка (мачта);
- 2) спусковое – подъемное оборудование;
- 3) силовое оборудование (двигатели);
- 4) приводы бурильной колонны и бурильные трубы;
- 5) насосное и очистное оборудование для применения буровых растворов.

Буровые насосы применяются для подачи промывочной жидкости в скважину для очистки забоя от выбуренной породы (шлама), охлаждения бурового инструмента и привода в действие гидравлических забойных механизмов [5].

Технологический процесс бурения скважин будет успешно проводиться, если буровой насос отвечает следующим требованиям [6,7]:

- 1) обеспечивает постоянную подачу промывочной жидкости независимо от колебаний давления в нагнетательной линии;
- 2) изменяет подачу жидкости в пределах, определенных параметрами технологического процесса бурения;
- 3) обеспечивать безотказную и надежную работу в процессе прокачивания жидкости, содержащей абразивные частицы и химически активные реагенты;
- 4) обеспечивать требуемую равномерность подачи;
- 5) безопасен при эксплуатации, удобен и прост в обслуживании и ремонте, в том числе, в полевых условиях;
- 6) иметь небольшую массу и габаритные размеры.

Лучше всех этим требования отвечают поршневые насосы.

По числу цилиндров и их расположению буровые насосы делятся на одно-, двух- и трехцилиндровые, с горизонтальным или вертикальным расположением

цилиндров [8, 9, 10]. Многоцилиндровые насосы не обладают существенными преимуществами перед двух – и трехцилиндровыми, но дороже их, как в изготовлении, так и при эксплуатации.

Основными характеристиками буровых насосов являются приводная и гидравлическая мощность, расход (количество подаваемой жидкости), давление нагнетания жидкости, а также число цилиндров. Кроме того, в характеристику могут входить длина хода поршня, диаметр цилиндрических втулок, число двойных ходов поршня в единицу времени, габаритные размеры и масса [11, 12, 13].

1.2 Устройство и принцип действия поршневых насосов

Для лучшего понимания работы поршневого насоса необходимо рассмотреть его устройство. В качестве примера рассмотрим насос УНБТ – 950, УНБТ-1180L1.

На рисунке 1.2.1 представлен внешний вид насоса, а в таблице 1.2.1 основные технические параметры [14, 15].

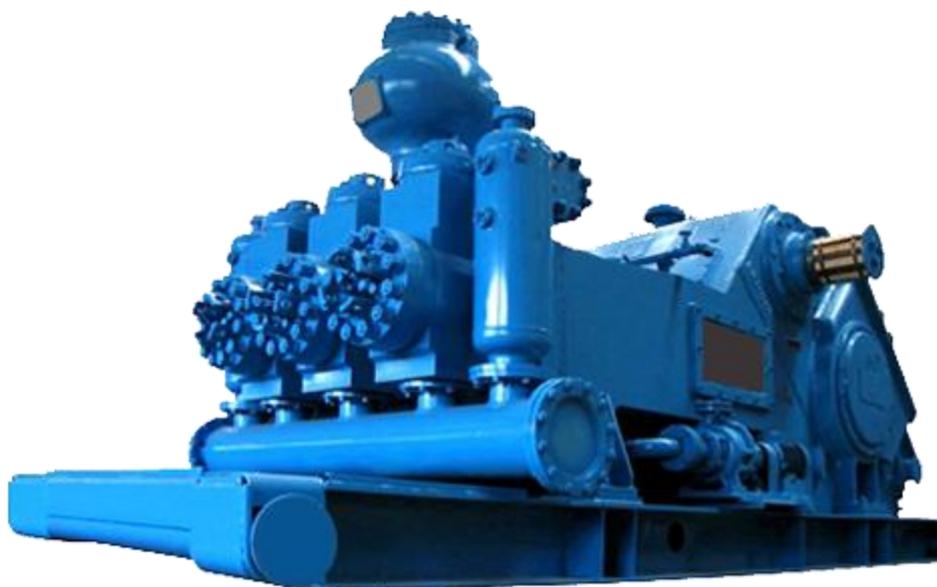


Рисунок 1.2.1 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ – 950

Таблица 1.2.1- Параметры насоса

Параметры	УНБТ–950
Мощность, кВт	950
Число цилиндров, шт.	3
Номинальная частота ходов поршня в мин.	125
Подача насоса, дм ³ /с (max)	46
Давление на выходе насоса, МПа (max)	35
Давление на входе насоса, МПа (min)	0.2
Исполнение гидравлической части	Прямоточное
Присоединительные размеры клапанной группы в клапанной коробке	№7 API Spec 7K
Пневмокомпенсатор	ПК70-320
Степень неравномерности давления на выходе из насоса, %, не более	5
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	5400х2627х1830
Масса насоса без шкива, кг	22800

На рисунке 1.2.2 представлен вид внутреннего устройства насоса УНБТ-1180L1 в сборе с втулкой цилиндрической в контакте с кольцом уплотнительным позиция 21 [16].

Из-за абразивного износа, определенные узлы бурового насоса не обладают достаточно высокой износостойкостью. Это особенно относится к деталям гидropоршневой пары (рисунок 1.2.3). Главные узлы гидравлической части бурового насоса – гидравлическая коробка, входной выходной коллекторы, цилиндрические втулки, поршни, штоки и клапаны [16].

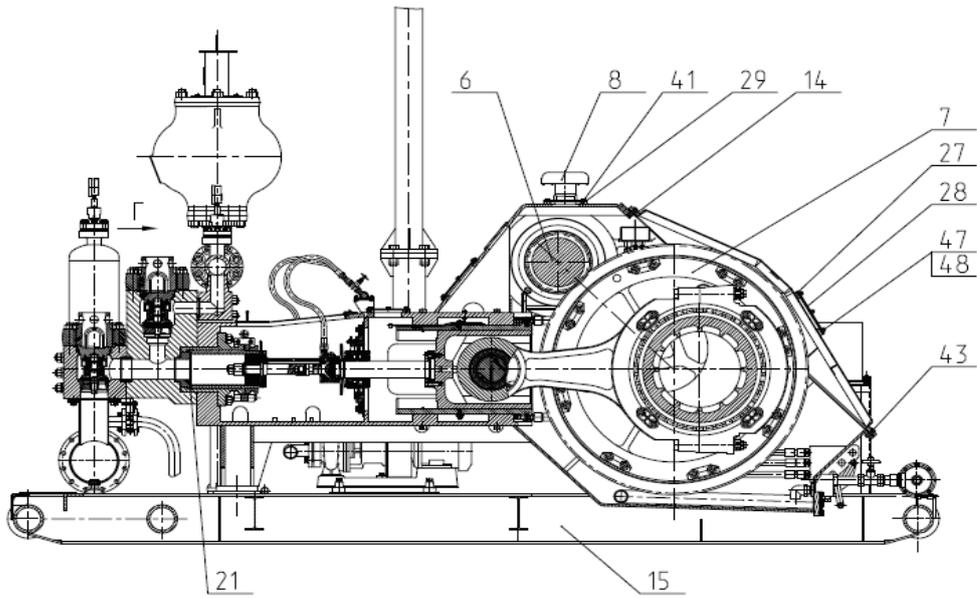


Рисунок 1.2.2 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ-1180Л

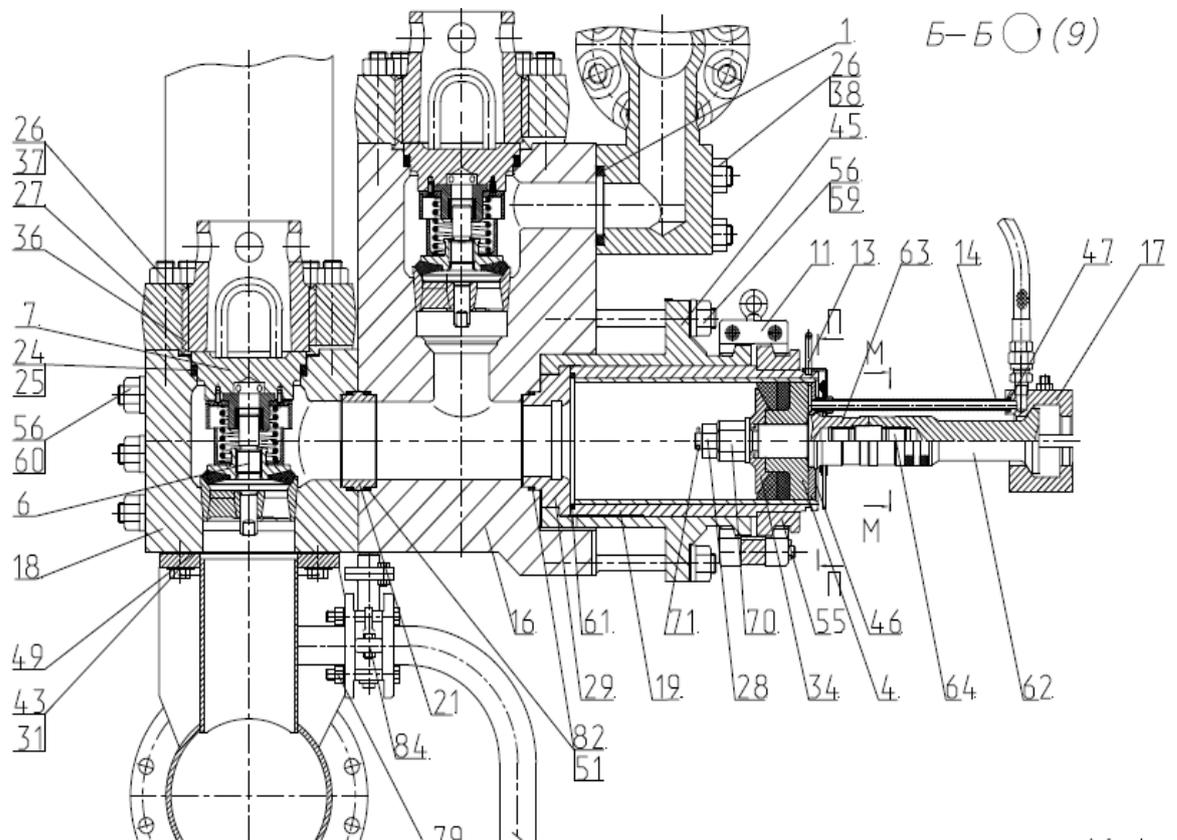


Рисунок 1.2.3 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ-1180Л. Разрез Б-Б

Втулка цилиндрическая расположена в гидравлической части бурового насоса. На рисунке 1.2.3 обозначена позиция № 19 [16].

Во втулку устанавливается поршень позиция № 4 (рисунок 1.2.4), который совершает возвратно – поступательные движения в процессе работы. Поршень представляет собой стальной сердечник с конической расточкой и привулканизированных к нему двух резиновых манжет, изготовленных из специальной резины, приспособленной на работу при высоком давлении и температуре, развивающихся при работе насоса. Материал сердечника – ст45, 50Х, ст20. Манжета поршня выполняется из резины, либо полиуретана [16, 17, 18].



Рисунок 1.2.4 – Поршень с резиновыми манжетами

Поршень на рисунке 1.2.4, предназначен для создания давления перекачиваемого бурового раствора при работе насоса [19].

В таблице 1.2.2, представлен один из вариантов технических характеристик изготавливаемых поршней [15].

Таблица 1.2.2 – Технические характеристики поршней

Технические характеристики	
Наружный диаметр, мм	от 130 до 200
Длина, мм	140
Масса, кг	от 5,7 до 17,6
Материал сталь	45

Учитывая номинальную частоту ходов поршня в минуту 125, можно рассчитать:

- 1) При плановой наработке втулки 800 часов, число ходов поршня по рабочей поверхности втулки составит 6000000;
- 2) При фактически получаемой наработке 100 часов, число ходов поршня по рабочей поверхности втулки составит 750000.

В настоящее время в бурении используются (цифра в шифре означает мощность насоса в кВт):

- 1) двухцилиндровые поршневые буровые насосы для геологоразведочного и технического бурения НБ – 32, НБ – 50, АНБ – 22, НБ – 125;
- 2) двухцилиндровые поршневые буровые насосы для глубокого бурения на нефть и газ НЦ320 (9Т), НПЦ – 32, НБТ – 235, НБ – 375;
- 3) трехцилиндровые поршневые буровые насосы для глубокого бурения на нефть и газ УНБТ – 600А, НБТ – 600 – 2, ВНБТ – 950, УНБТ – 1600.

К преимуществам поршневых насосов в первую очередь можно отнести большое развиваемое давление нагнетания. Недостатком же является относительно большая масса и габариты, а также сложная процедура замены поршня и/или втулки цилиндрической, и, кроме того, отсутствие непосредственного контроля над состоянием уплотнений поршня.

В нефтяном бурении широко применяются трехцилиндровые поршневые буровые насосы простого действия. К основным особенностям таких буровых насосов можно отнести:

- 1) использование трех цилиндрических втулок;
- 2) повышенное число ходов в единицу времени.
- 3) малая степень неравномерности подачи жидкости и хорошие динамические характеристики работы приводной и гидравлических частей [11, 15].

Процесс всасывания жидкости в поршневом насосе начинается с перемещения поршня вправо, вследствие чего увеличивается свободный объем цилиндра и понижается давление в нем по сравнению с атмосферным, действующим на свободную поверхность жидкости в рабочей зоне. Под действием атмосферного давления жидкость перемещается по всасывающей линии. Всасывающий клапан поднимается, и жидкость поступает в цилиндр. При обратном ходе поршня давление в рабочей камере повышается, из-за чего всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный параллельно открывается, пропуская жидкость в нагнетательную линию.

Крейцкопф (или ползун) придает поршню возвратно-поступательное движение через шток. К крейцкопфу шарнирно прикреплен шатун, которого с другой стороны эксцентрично закреплен относительно оси вращения вала. Так, вращательное движение вала преобразуется в возвратно-поступательное перемещение крейцкопфа (или ползуна) и, соответственно, поршня в цилиндре [16].

Подача насоса регулируется через изменение числа двойных ходов насоса с помощью коробки передач или изменением вытесняемого объема жидкости: у поршневых насосов – сменными цилиндрическими втулками и поршнями.

Регулирование количества промывочной жидкости, подаваемой в скважину, выполняется при постоянной подаче насоса отводом лишней жидкости в отстойник через трехходовой регулировочный кран, устанавливаемый в нагнетательной линии.

Давление жидкости в нагнетательной магистрали определяется при помощи специального манометра, который установлен на воздушном компенсаторе насоса. Насос развивает давление достаточное, чтобы преодолеть сопротивление потока

жидкости в трубах, их соединениях, а также в колонковом наборе (долоте), кольцевом зазоре между стенками скважины и бурильными трубами, нагнетательном шланге, обвязке и сальнике [17].

1.3. Описание втулки цилиндрической буровых насосов

В буровом насосе одним из важных узлов является гидропоршневая группа. Данный узел обеспечивает давление для перекачки жидкости. Поршень и цилиндрическая втулка (ее чертеж показан на рисунке 1.3.1) работают в среде слабоагрессивной и высоко – абразивной жидкости. Температура в рабочей зоне достигает 85 °С. Манжета поршня работает в паре с поверхностью втулки с шероховатостью Ra от 0,16 до 0,32 мкм [2,5].

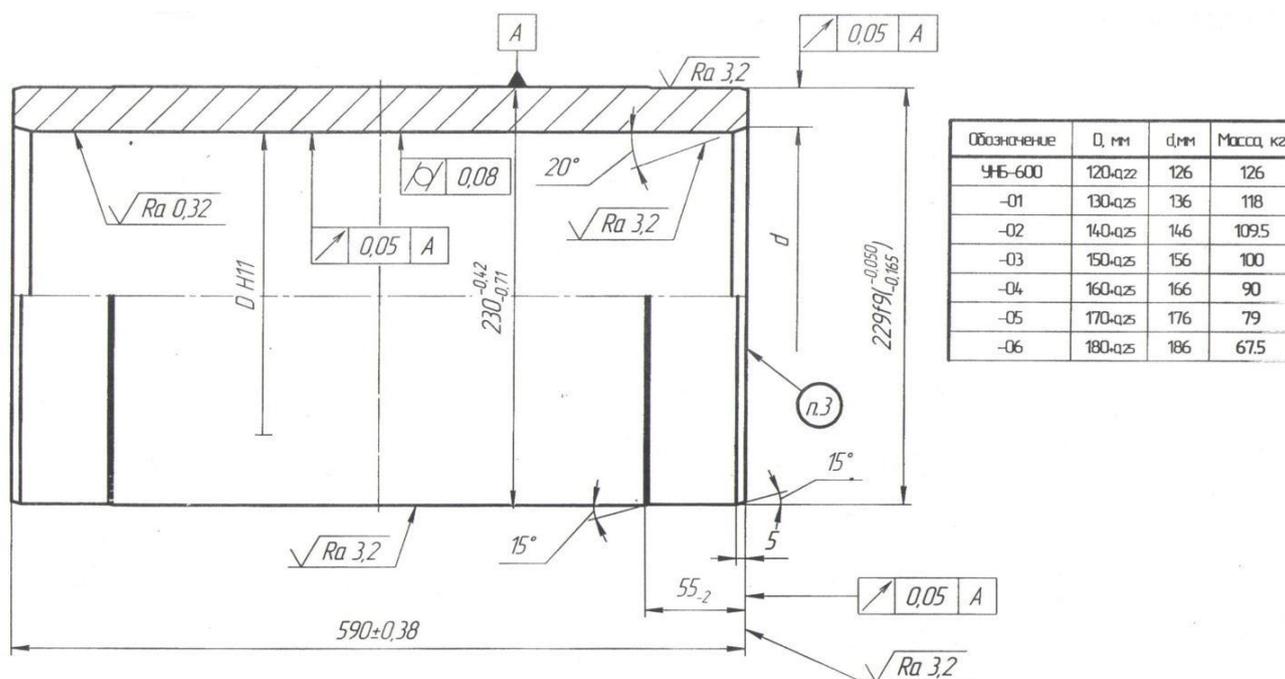


Рисунок 1.3.1 – Чертеж втулки цилиндрической

Втулки изготавливаются цилиндрической формы с упорным буртом для ее фиксации от осевых перемещений. Втулка фиксируется специальными фиксирующими устройствами. Учитывая конструктивные особенности насоса, соответственно и изготавливается упорный бурт в различных частях по длине втулки. Внутреннюю рабочую поверхность втулки по технологии шлифуют и хонингуют [1].

Для работоспособности насоса также большое значение имеет зазор между поршнем и цилиндром. Допустимые зазоры указаны в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1 – Допустимые диаметральные зазоры между поршнем и цилиндровой втулкой [11]

Номинальный внутренний диаметр втулки, мм	Минимальный монтажный зазор, мм	Отбраковочный зазор, мм
150	0,25	2,25
175	0,27	2,40
200	0,30	3,00
225	0,33	3,30
250	0,36	3,75
275	0,41	3,90
300	0,45	4,00
325	0,50	4,50
375	0,55	5,00
400	0,60	5,50

Требуется высокая точность при изготовлении втулок. Рабочая внутренняя поверхность втулок должна быть, как прямолинейный цилиндр с низкой шероховатостью и минимальными отклонениями в размерах цилиндричности [15].

На ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» втулки изготавливаются из сталей марок 20Х, 38Х2МЮА, 50Г, 40Х, 45, 70 (таблица 1.3.2, 1.3.3), а также из чугунов СЧ28-48, ИЧС-30, ВЧ50 [1].

По химическому составу сталь 70 (таблица 1.3.2) [21].

Таблица 1.3.2 – Массовая доля элементов, %

С	Si	Mn	Cr
0,67-0,75	0,17-0,37	0,50-0,80	Не более 0,25

По механическим свойствам сталь 70 (таблица 1.3.3) [21].

Таблица 1.3.3 – Механические свойства, не менее

Предел текучести, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Временное сопротивление, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
835 (85)	1030 (105)	9	30

Количество материалов применяемых для изготовления втулок, обусловлено различием состава и требуемого давления бурового раствора, применяемого в зависимости от географического месторасположения, глубины бурения и вида залегающих пород, встречающихся в забое.

Таким образом, наличие широкой номенклатуры материалов для изготовления втулки цилиндрической, позволяет применять в каждом случае наиболее оптимальный материал, как с технической, так и с экономической точки зрения.

Следующим материалом для производства втулки является биметалл (состоит из двух частей корпус и вкладыш). Внешняя часть изготовлена из круглой стальной заготовки (стали 20, 40, 45, 40Х), имеет высокую прочность на растяжение, ударную вязкость [1].

Материал вкладыша – чугун с высоким содержанием хрома 26 – 28 %. При номинальных эксплуатационных условиях биметаллическая втулка способна выдерживать высокое давление промывочной жидкости и обеспечивать срок наработки более 800 часов.

В настоящее время на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» для насосов УНБТ 950, с давлением бурового раствора более 20 МПа, цилиндрические втулки производятся центробежным литьем из чугунов марки ВЧ50/ЧХ28 (рисунок 1.3.2).

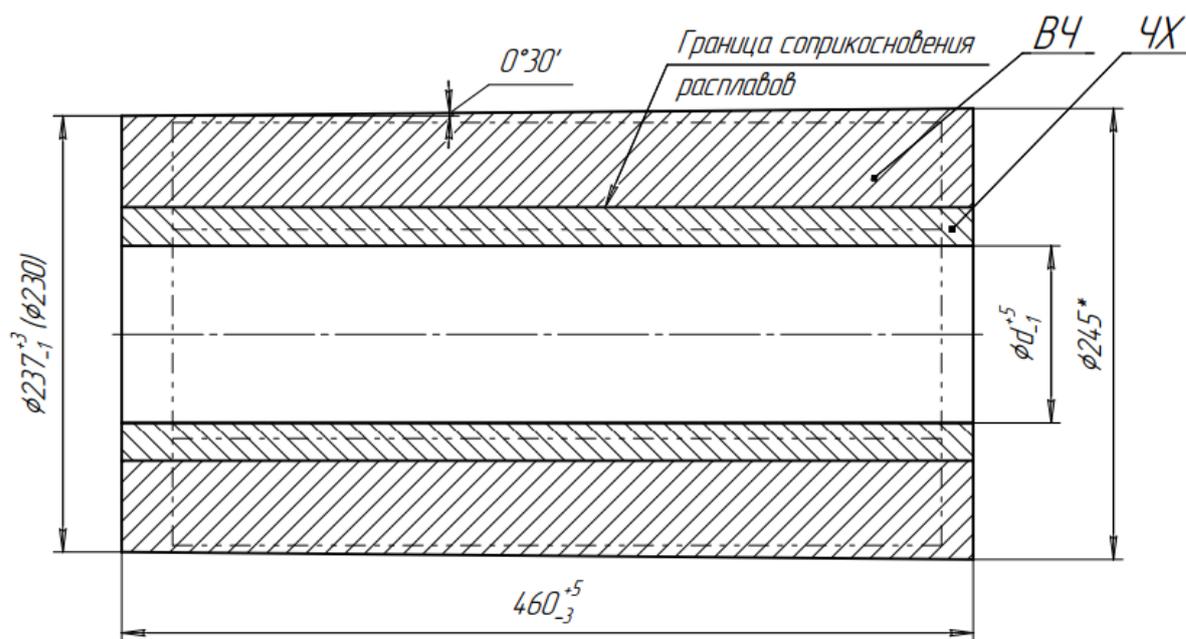


Рисунок 1.3.2 – Отливка втулки цилиндрической из чугунов марки ВЧ50/ЧХ28

1.4 Условия эксплуатации втулки цилиндрической

В буровых насосах втулка цилиндрическая является сменной деталью. Для регулирования давления и объёма прокачки бурового раствора применяются втулки с различными внутренними диаметрами. Поэтому на практике в процессе разработки забоя используют несколько различных типоразмеров втулки, [6, 7].

Учитывая данную информацию, целесообразно провести анализ условий работы бурового насоса и предъявляемые к ним требования.

Буровые насосы, как правило, располагаются на расстоянии от 70 до 100 метров от скважины. Рабочая температура окружающей среды от минус 55 до плюс 45 °С, температура перекачиваемого раствора изменяется от минус 1 до плюс 85 °С. Насос работает при самовсасывании, при нормальных условиях работы с подпорным центробежным насосом, при давлении до 0,4 Мпа [20].

Буровой насос в процессе эксплуатации увеличивает объём перекачивания раствора 2 – 3 раза. При этом он должен кратковременно развивать необходимое давление для продавливания частиц выбуренной породы, осевших в затрубном пространстве, трубах или при образовании сальников во время остановки бурения.

Длительность работы насоса изменяется периодами от 25 минут и более 180 часов.

По требованиям эксплуатирующих организаций, буровой насос должен быть прост в эксплуатации, чтобы имелась возможность замены быстроизнашивающихся деталей [22]. Ресурс работы насоса должен составлять не менее 9000 часов.

Буровой насос применяется на бурильных установках с целью обеспечения циркуляции бурового раствора в скважине. Основное предназначение бурового насоса — это обеспечить циркуляцию бурового шлама и предотвратить его оседание в процессе бурения, а также подъем разбуриваемой породы на поверхность [2].

Следовательно, наиболее агрессивной средой оказывающей, как постоянное, так и периодическое воздействие на внутреннюю поверхность втулки цилиндрической является перекачиваемая среда [23].

Давление перекачиваемого раствора, создаваемое буровым насосом до 35 МПа. Параметры бурового раствора: глинистый раствор на водной основе с плотностью до 2200 кг/м^3 температурой от 0 до 80°C , с примесью нефти по объему не более 20 %, химических реагентов, утяжелителя.

Общее содержание частиц с твердостью свыше 38 HRC в утяжеленном буровом растворе может достигать до 40 % объема, pH 6-10.

Размер твердых частиц - от 5×10^{-6} мм (размер большой молекулы) до 0,1 мм. Условная вязкость - от 20 до 100 сек. Минерализация - до 15 %. Содержание растворенного газа - до 2 %. Температура бурового раствора, поступающего на прием насоса от 35 до 45°C [6].

Анализ условий работы бурового насоса, параметров перекачиваемого раствора, материалов и конструкции гидравлической части – пары «поршень – втулка цилиндрическая» взаимодействующих с буровым раствором, позволяет сформулировать следующие условия работы втулки.

Первое, силы трения, образующиеся в процессе набора раствора между поршнем и втулкой, выталкивают втулку в сторону движения поршня. Во время этого процесса внутри цилиндра возрастает давление жидкости, которое выталкивает втулку в обратном направлении с силой, равной произведению этого давления на площадь сечения тела втулки.

При этом резина поршневой манжеты сильнее прижимается к внутренней поверхности втулки цилиндрической.

Во – вторых, поверхность внутреннего диаметра получает как постоянное, так и периодическое воздействие от перекачивания бурового раствора поршнем при его возвратно-поступательном движении.

В процессе перекачивания, твердые частицы бурового раствора (с твердостью свыше 38 HRC) под давлением до 35 МПа соприкасаются с внутренним диаметром втулки цилиндрической. Возможны следующие виды контакта:

- Контакт происходит хаотичным соударением при свободном витании твердых частиц, при заполнении и опорожнении внутреннего объема втулки буровым раствором.

- Контакт происходит в виде скольжения твердых частиц (размер твердых частиц – от 5×10^{-6} мм (размер большой молекулы) до 0,1 мм, в результате попадания их между манжетой поршня и внутренней поверхностью втулки цилиндрической).

Следует также обратить внимание, что в связи с наличием в растворе твердых абразивных частиц размерами от 0,000005 мм до 0,1 мм, однозначно возможен их прорыв в щель между манжетой поршня и зеркалом втулки без износа их рабочих поверхностей. Шероховатость внутренней зеркальной поверхности новой втулки Ra, от 0,25 до 0,4 мкм (0,00025 – 0,0004 мм).

1.5 Характерные виды повреждаемости втулки цилиндрической при эксплуатации

Как отмечается в [13] 33 % случаев поломки буровых насосов происходит из-за износа пары цилиндрическая втулка – манжета поршня. Манжеты изготавливаются из резины с кордом; также вместо манжет применяются пластмассовые кольца. Защита и увеличение срока эксплуатации этой пары являются важными инженерными задачами.

В технической литературе очень мало сведений о видах повреждаемости непосредственно втулки цилиндрической. Поэтому, вероятно, имеет смысл сначала рассмотреть процессы повреждаемости, общие для всех пар трения, а затем, - имеющиеся данные о втулке цилиндрической.

В настоящее время не существует единой классификации видов изнашивания и повреждаемости, так как до сих пор не выявлены причины, по которым надлежит классифицировать изнашивание.

В классификации изнашивания по внешним признакам различают изнашивание при трении скольжения со смазочным материалом и без него, а также со слоем абразивного порошка. Существует классификация, в которой учитывают характер взаимодействия поверхностей при трении и характер протекающих на трущихся поверхностях процессов. В уточненном виде она включает: адгезию или истирание поверхностей, абразивное воздействие или резание, коррозию, усталость, а также другие редко встречающиеся виды изнашивания.

И.В. Крагельским разработана классификация видов изнашивания, построенная на рассмотрении трех последовательных этапов: взаимодействие поверхностей, происходящее при скольжении поверхностей, их изменение, затем разрушение [24].

Наиболее удачными являются классификации, предложенные Б.И. Костецким [25]. В соответствии со взглядами Костецкого все многообразие процессов поверхностного разрушения при внешнем трении разделено на две резко выраженные области нормального и паталогического процессов: изнашивание и повреждаемость.

Основные виды износа, которым может подвергаться поверхность цилиндровой втулки при работе бурового насоса [17]:

- 1) усталостный;
- 2) абразивный;
- 3) коррозионный;
- 4) эрозионный;
- 5) механический.

В [26] рассмотрен износ деталей цилиндровой группы на примере деталей наиболее распространенных насосов. Для удобства классификации основных параметров, характеризующих режим работы уплотнительных устройств в [27] автором были приняты следующие характеристики: давление до 10 МПа – низкое;

давление от 10 до 16 МПа – среднее; давление от 16 до 32 МПа – высокое; вода техническая и бетонитовый раствор без абразивных частиц – чистые жидкости; буровые растворы ($\rho = 1,05 - 1,2 \text{ г/см}^3$) с содержанием песка до 1% – малоабразивные жидкости; буровые растворы ($\rho = 1,3 - 1,6 \text{ г/см}^3$) с содержанием песка до 3 % – среднеабразивные жидкости; буровые растворы ($\rho = 1,7 - 2,2 \text{ г/см}^3$) с содержанием песка более 3 % – высоко – абразивные растворы. Мы также воспользуемся данной классификацией.

В режиме низкого давления жидкость, перекачиваемая насосами, чаще всего представляет собой легкий буровой раствор, содержащий значительное количество абразива (в основном песка до 5 %); температура раствора невысокая, в основном 20 – 40 °С. В таких условиях наиболее выраженными видами изнашивания цилиндропоршневых пар являются абразивный и гидроабразивный. Рабочие поверхности втулок и поршней покрыты густой сетью продольных рисок различной глубины (в большинстве случаев мелких). Глубокие риски – канавки, которые можно отнести к категории местных промывов имеются только на отдельных участках внутренней поверхности втулки. Как правило, отмечается противостояние рисок и промывов на втулке и поршне. Статистические исследования распределения износа в цилиндропоршневых парах насоса 11ГрИ позволили автору установить следующее:

а) диаметральный износ цилиндровых втулок статистически распределяются по закону модуля разности, радиальные – по закону эксцентриситета, а глубина промывов и рисок – по нормальному закону;

б) построенные по средним арифметическим значениям профилограммы геометрического распределения износов в характерных сечениях втулки обнаружили бочкообразность цилиндрической втулки в продольном сечении, одностороннюю овальность в нижней части ее поперечного сечения, соответствие областей и градиента промывов с односторонним износом. Причем область существования промывов уже области одностороннего износа, а градиент промыва выше градиента одностороннего износа. Глубина рисок в нижней части цилиндрической втулки оказалась приблизительно в два, три раза выше, чем в верхней.

Для цилиндровой втулки и поршня, работающих в паре, характерно радиальное противостояние рисок и промывов на поверхностях трения, причем глубина промыва на поршне, как правило, больше, чем на втулке;

в) Неравномерность износа цилиндровой втулки объясняется следующим образом: бочкообразность – неполным прохождением длины втулки всей длиной поршня и неравномерной скоростью поршня; односторонняя овальность – придонным перемещением абразивных частиц и односторонним нагружением крейцкопфа насоса; соответствие областей и градиентов промывов и рисок с односторонним износом – закономерностью изнашивания цилиндропоршневой пары; радиальное противостояние рисок и промывов на втулке и поршне – возвратно – поступательным характером перемещения поршня; превышение глубины промыва поршня над глубиной промыва втулки – различным сопротивлением резины и закаленной стали режущему действию скользящей гидроабразивной струи. Если местное расположение промывов вызвано односторонним износом втулки, то дискретный характер их существования следует связывать с образованием глубоких абразивных рисок в ее нижней части.

В режиме среднего давления, этот режим работы буровых насосов наиболее распространен, явно выражены несколько видов изнашивания цилиндропоршневой пары. При перекачивании высоко – абразивных жидкостей невысокой температуры (до 50 °С) характерны абразивное, гидроабразивное, усталостное и механическое изнашивания деталей пары. Наряду с этим проявляются термодеструкция материала поршневых манжет, их остаточная деформация или набухание. Снижение концентрации абразива в перекачиваемой жидкости уменьшает абразивный износ деталей. Повышение температуры жидкости интенсифицирует термодеструкцию поршневых манжет. При перекачивании средне – и высокоабразивных растворов поверхность цилиндрических втулок так же, как и при эксплуатации насосов на режимах низкого давления, покрыта густой сетью продольных рисок, а на отдельных участках, главным образом в нижней части, имеются один и несколько глубоких промывов. Если в радиальном сечении втулка также изнашивается неравномерно с максимумом износа в нижней части, то в продольном сечении

выявляются новые закономерности изнашивания. Помимо этого, наблюдались отколы кусков от втулок, а также признаки механического изнашивания были отмечены при задире металлоарматуры поршня о втулку из – за значительной несоосности.

В режиме высокого давления (особенно выше 20 МПа) основными видами изнашивания являются термодеструкция и усталостное разрушение материала манжет, особенно в области уплотняемого зазора. Причем увеличение концентрации абразива в перекачиваемой жидкости несущественно интенсифицирует процесс разрушения пары, в основном влияя на износ поверхности втулки. При высоких давлениях цилиндропоршневая пара выходит из строя вследствие преждевременного разрушения поршня под действием высокой температуры трения. Снижение абразива в растворе позволяет большее число поршней отработать в одной втулке и почти не отражается на долговечности поршня.

Касаемо износа цилиндрических втулок можно сделать заключение, что разрушение втулок цилиндрических начинается с образования сети мелких рисок и царапин, истирания внутренней поверхности на длине рабочего хода. Пример изношенной внутренней поверхности втулки цилиндрической, представлен на рисунке 1.5.1.

Говоря об износе, можно добавить, что, как указывается в [17], в процессе эксплуатации бурового насоса наиболее быстро изнашивающейся деталью являются цилиндрические втулки; износ происходит вследствие абразивного действия песка, содержащегося в буровом растворе (схема взаимодействия твердых частиц со стенкой цилиндрической втулки показана на рисунке 1.5.2). При этом авторы [11] указывают, что полная очистка жидкости от твердых частиц горной породы не обеспечивается. Данные абразивные частицы попадают вместе с жидкостью на поверхность трения, перекатываются по ней, шаржируя поверхность, ускоряя изнашивание втулки цилиндрической.

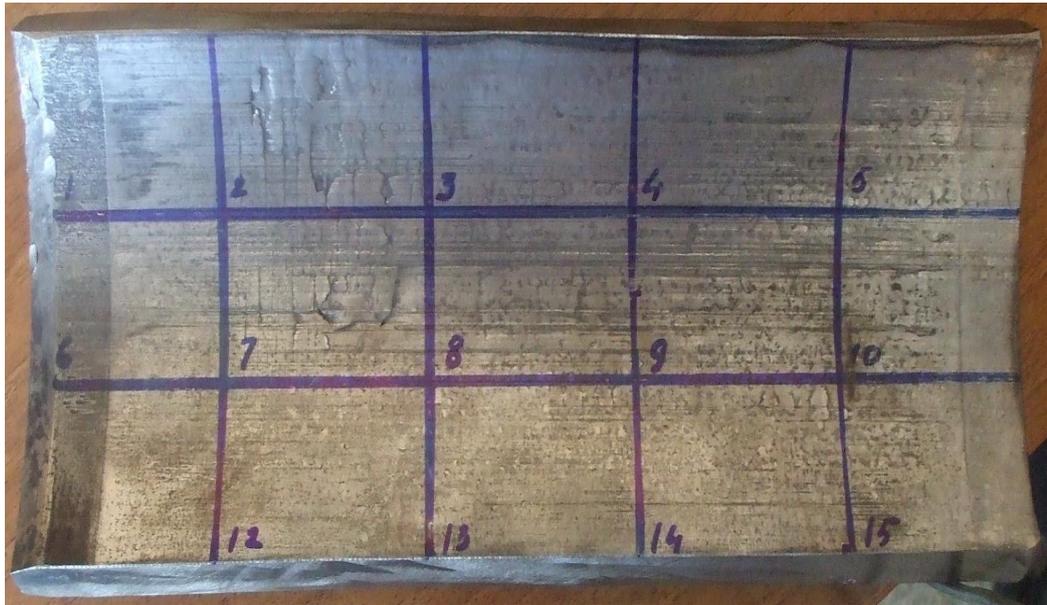


Рисунок 1.5.1 – Внутренняя (рабочая) поверхность втулки

Ниже приведена схема взаимодействия твердых частиц со стенкой цилиндра, взятая из [11], где 1 – резиновое поршневое кольцо; 2 – стенка цилиндра; 3 – зерно кварца; δ – толщина слоя граничной смазки; p – давление на резину; v – направление скорости носителя твердых частиц.

Из имеющихся данных от ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод», следует обратить на следующую информацию.

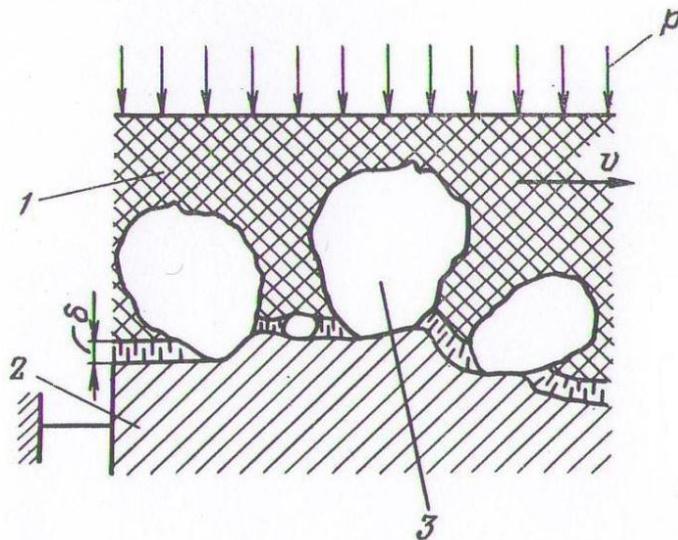


Рисунок 1.5.2 – Схема взаимодействия твердых частиц со стенкой цилиндрической втулки

При испытаниях биметаллической цилиндрической втулки происходило разрушение втулки в буровом насосе (рисунок 1.5.3). Является единичными случаями, выявленными в процессе эксплуатации.



Рисунок 1.5.3 – Разрушение втулки в буровом насосе

На рисунке 1.5.4 зафиксирована трещина внутренней поверхности втулки в процессе эксплуатации. Данный дефект относится к единичным случаям.



Рисунок 1.5.4 – Трещины втулки цилиндрической

Наиболее массовым дефектом в процессе эксплуатации втулки, являются продольные глубокие риски глубиной до 1,5 мм на поверхности трения (рисунок 1.5.5), поперечная выработка. Средняя наработка составляет 100 часов, при ожидаемых 800 – 1000 часов.



Рисунок 1.5.5 – Продольные глубокие риски глубиной до 1.5 мм

Часто вместе с буровым раствором в рабочую зону может попадать и нефть. В [13] приведена следующая таблица, в которой даны рекомендации авторов по выбору материалов для цилиндров в соответствии с условиями эксплуатации (таблица 1.5.1).

Из таблицы 1.5.1 видно, что на износ внутренней поверхности цилиндрической втулки происходит в первую очередь под воздействием абразивного износа и коррозией соленой водой (в которой могут содержаться CO_2 и H_2S). Кроме того, как отмечается в [4], что содержание воды в нефти может колебаться. При движении нефти и воды по стволу скважины происходит их взаимное перемешивание, в результате чего образуются эмульсии ввиду наличия в нефти природных эмульгаторов (асфальтенов, смол и т. д.).

Таблица 1.5.1 – Материал цилиндрических втулок и условия их эксплуатации

Материал	Условия эксплуатации
Углеродистая сталь с упрочнением внутренней поверхности, серый чугун	Некорродирующая неочищенная нефть без абразивных компонентов
Углеродистая сталь с термохимическим упрочнением внутренней поверхности, низколегированная сталь с термохимическим упрочнением, серый чугун	Некорродирующая неочищенная нефть с немногими абразивными компонентами
Углеродистая и низколегированная сталь с твердохромированным покрытием внутренней поверхности	Обводненная неочищенная нефть с невысокой коррозией соленой водой и повышенным содержанием абразивных компонентов
Закаленная нержавеющая сталь	Сильно обводненная неочищенная нефть с высокой коррозией соленой водой и немногими абразивными компонентами
Монель – металл	Сильно обводненная неочищенная нефть для тяжелых условий коррозии соленой водой с CO_2 и H_2S без абразивных компонентов

Кроме высокоминерализованной воды в нефти могут содержаться кристаллики солей. Особенно опасно содержание солей в сернистой нефти, т. к. сероводород с хлористым водородом особо коррозионны. Однако если нефть и попадет в буровой раствор, ее вредное воздействие на части буровых насосов несоизмеримо ниже воздействия на узлы добывающих установок.

Стоит отметить, что в 2013 г. на V международной студенческой научной конференции “Студенческий научный форум” представители Технического университета Комсомольска – на – Амуре для иллюстрации затрат, возникающих вследствие эксплуатации втулки цилиндрической, привели пример цилиндрической

штуки насоса УНБТ – 950L1, работоспособность которой составляет 100 часов. Средняя стоимость такой штуки – 10 000 рублей. Каждая из 11 работающих на месторождении буровых установок имеет шесть насосов. Таким образом, годовые расходы на удаление из насоса и утилизацию штуков составляют 27,7 млн. рублей [27].

Подобный размер материальных затрат делает актуальной задачу увеличения ресурса работы штуков.

Для реализации работ по техническому заданию ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» (приложение А), необходимо определиться с фактическим материалом штуков цилиндрических. Для этого рассмотрим результаты исследований центробежной отливки с отпуском на 550 – 580 градусов, в центральной заводской лаборатории ООО «НПФ ПАКЕР» [28]. Объект исследования штука УНБТ 950, образец 1. Согласно конструкторской документации должен быть материал биметалл ВЧ50/ЧХ28. Исследуемые показатели: химический анализ, микроструктура, твердость. Исследования производились с целью определения качества на соответствие требованиям конструкторской документации.

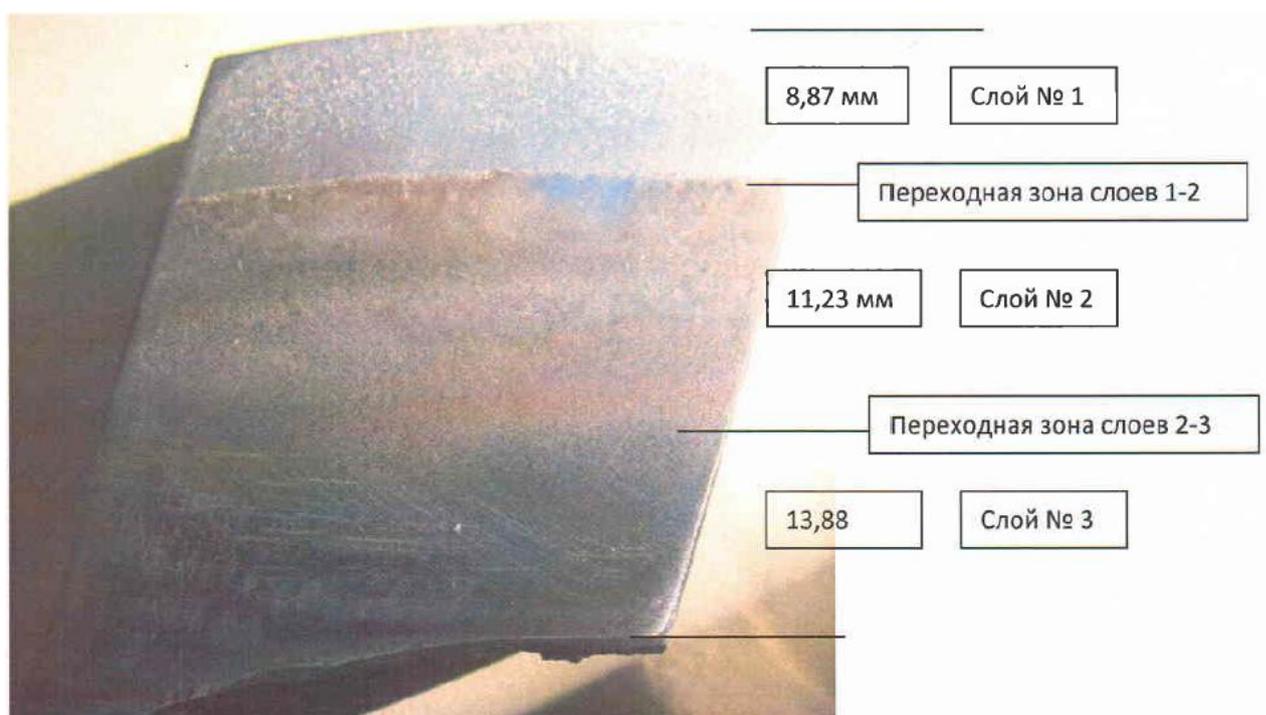


Рисунок 1.5.6 – Шлиф для микроанализа. Послойная нумерация образца

Слой № 1 представлен на рисунке 1.5.6, химический состав в таблице 1.5.2.

Таблица 1.5.2 – Массовая доля элементов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Mg	P
4,566	2,125	0,326	0,162	0,345	0,01	0,271	0,008	0,007

Фактическая твердость слоя № 1 составила 36 – 39,5 НРС. Микроструктура слоя однородная, пластинчатый перлит – феррит, карбиды. Вид структуры металлической основы – перлит – феррит П20 (Ф80). Чугун серый с пластинчатым и вермикулярным графитом (рис. 1.5.7, 1.5.8).



Рисунок 1.5.7 – Микроструктура слоя 1. Увеличение x100. Чугун серый с пластинчатым и вермикулярным графитом П20 (Ф80)

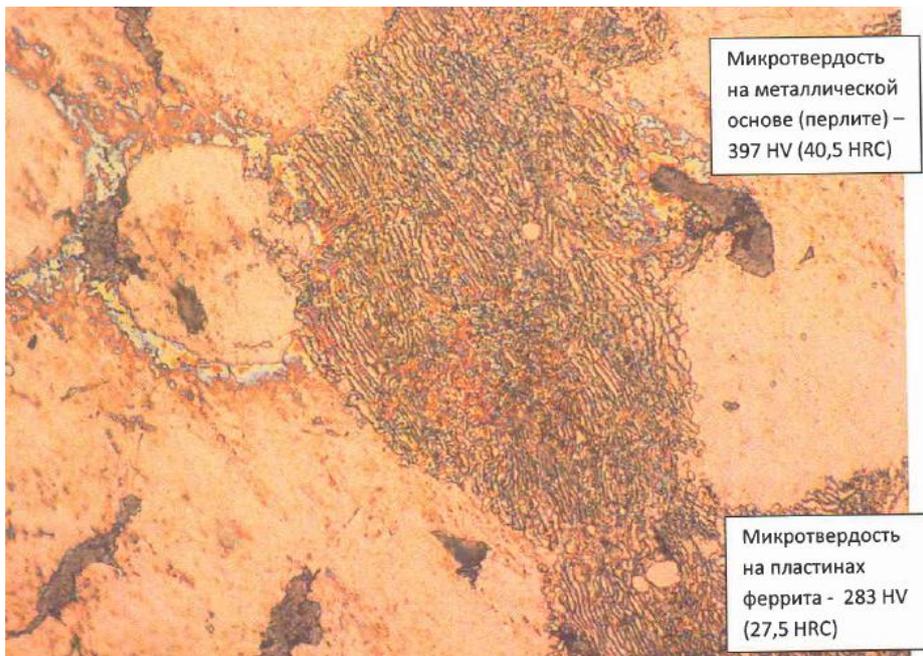


Рисунок 1.5.8 – Микроструктура слоя 1. Увеличение x1000

Слой 1 – 2 представлен на рисунке 1.5.6.

Микроструктура переходного слоя 1 – 2 неоднородная (рисунок 1.5.9, 1.5.10), с большими участками пластинчатого перлита, темно – белыми участками перистого и сотового ледебурита, с небольшим количеством карбидов.

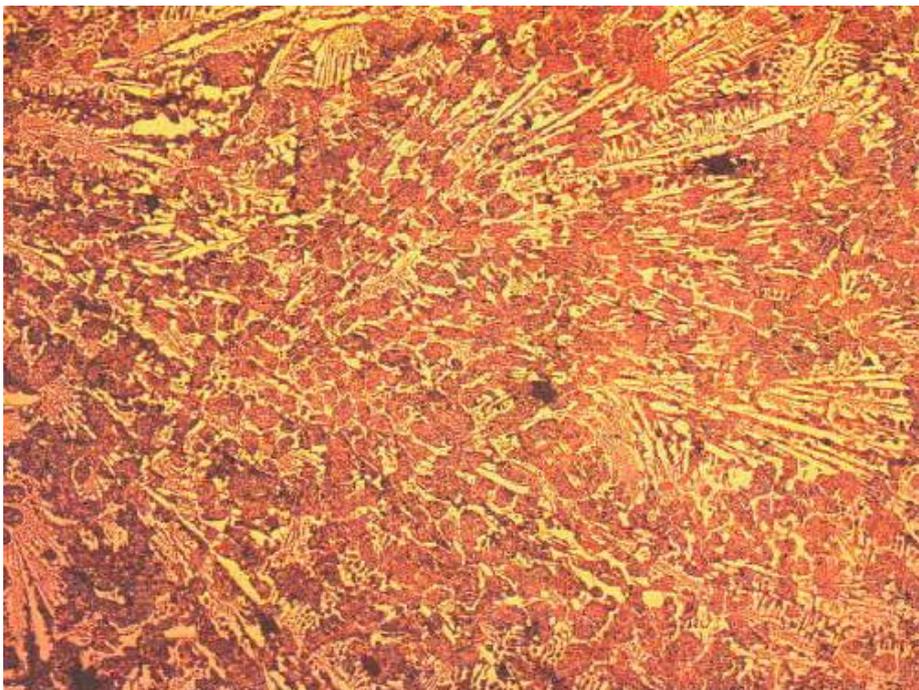


Рисунок 1.5.9 – Микроструктура слоя 1 – 2. Увеличение 100

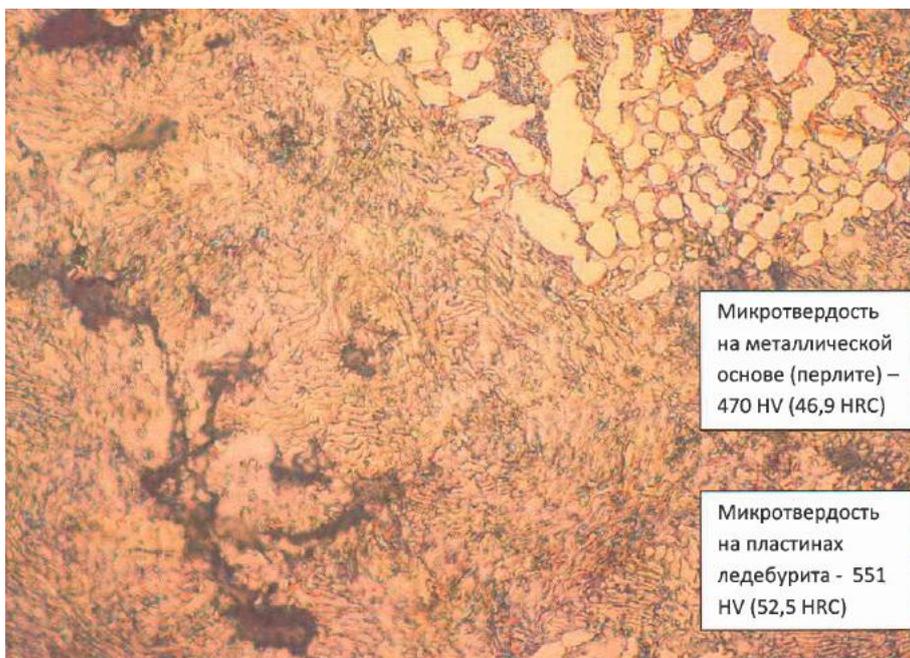


Рисунок 1.5.10 – Микроструктура слоя 1 – 2. Увеличение 1000

Слой № 2 представлен на рисунке 1.5.6, химический состав в таблице 1.5.3.

Таблица 1.5.3 – Массовая доля элементов, %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Mg	S	P
2,468	2,238	0,496	7,63	0,16	0,019	0,15	0,009	0,015	0,016

Фактическая твердость слоя № 2 составила 37 – 38 HRC.

Микроструктура слоя 2 неоднородная, пластинчатый перлит, с темно-белыми участками перистого и сотового ледобурита, светлыми пластинами вторичного цементита, с большим количеством карбидов (рисунок 1.5.11, 1.5.12).

Микроструктура переходного слоя 2 – 3 неоднородная (рисунок 1.5.13), с темно – белыми участками ледобурита и пластинчатого первичного цементита, пластинчатого перлита, карбидов.

Слой 2 – 3 представлен на рисунке 1.5.6.

Слой № 3 представлен на рисунке 1.5.6, химический состав в таблице 1.5.4.

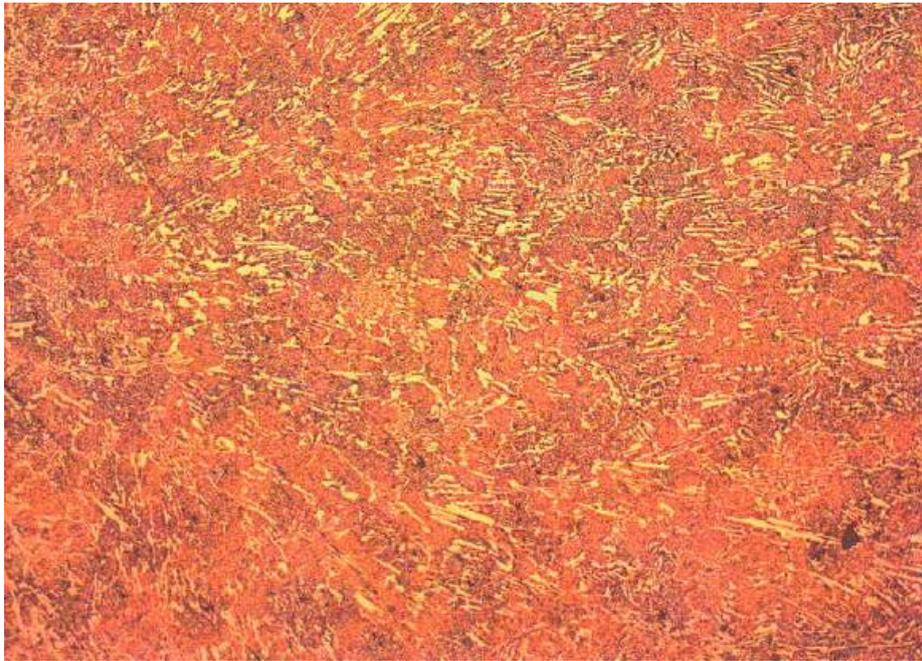


Рисунок 1.5.11 – Микроструктура слоя 2. Увеличение 100

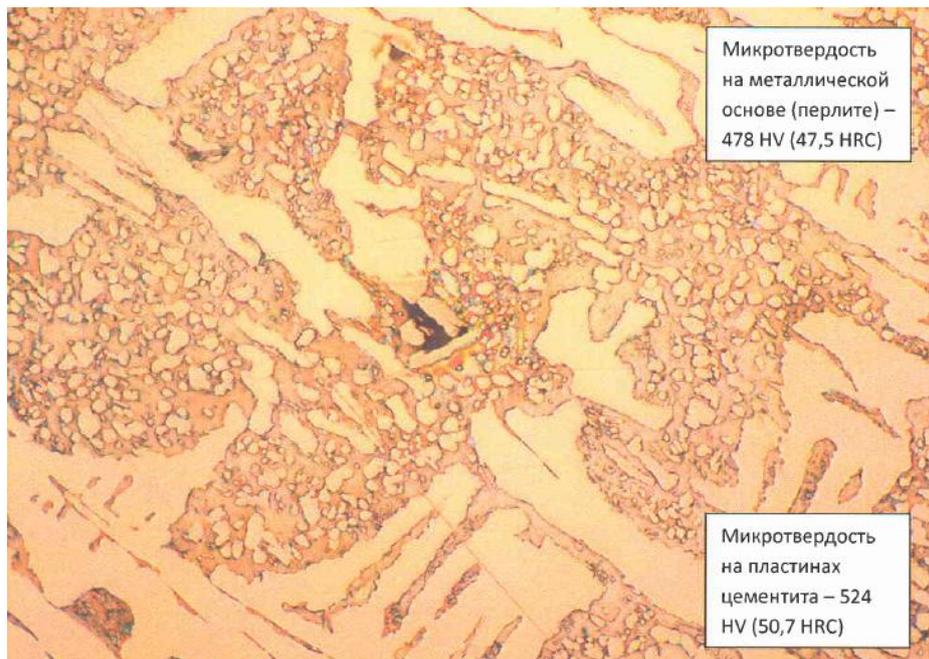


Рисунок 1.5.12 – Микроструктура слоя 2. Увеличение 1000

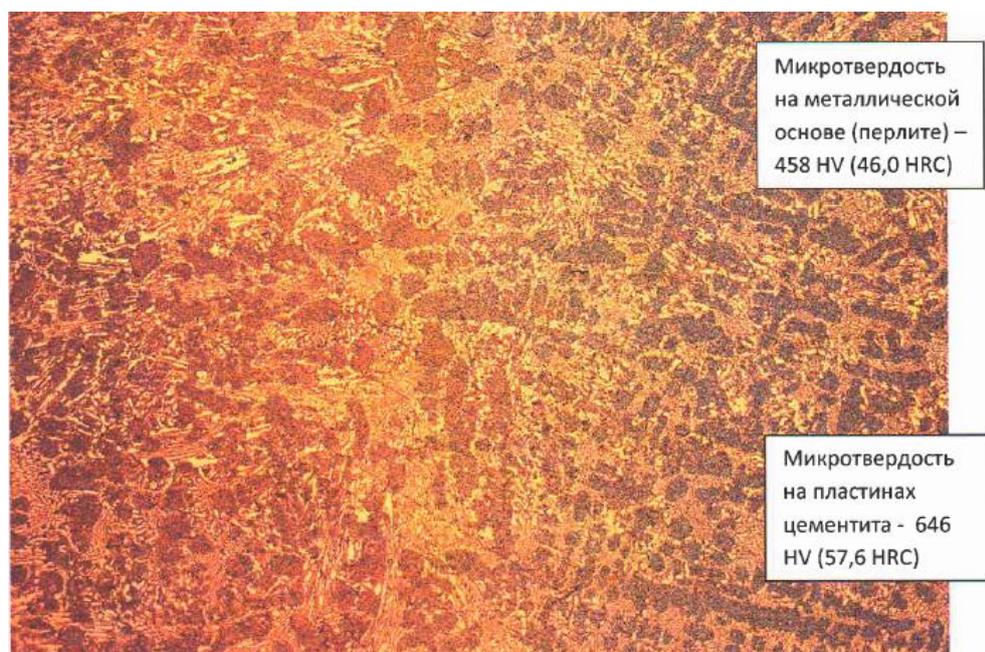


Рисунок 1.5.13 – Микроструктура слоя 2 – 3. Увеличение 1000

Таблица 1.5.4 Массовая доля элементов, %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Mg	S	P
2,04	1,873	0,599	18,74	0,22	0,004	0,122	0,005	0,015	0,015

Фактическая твердость слоя № 3 составила 31,5 – 35 HRC.

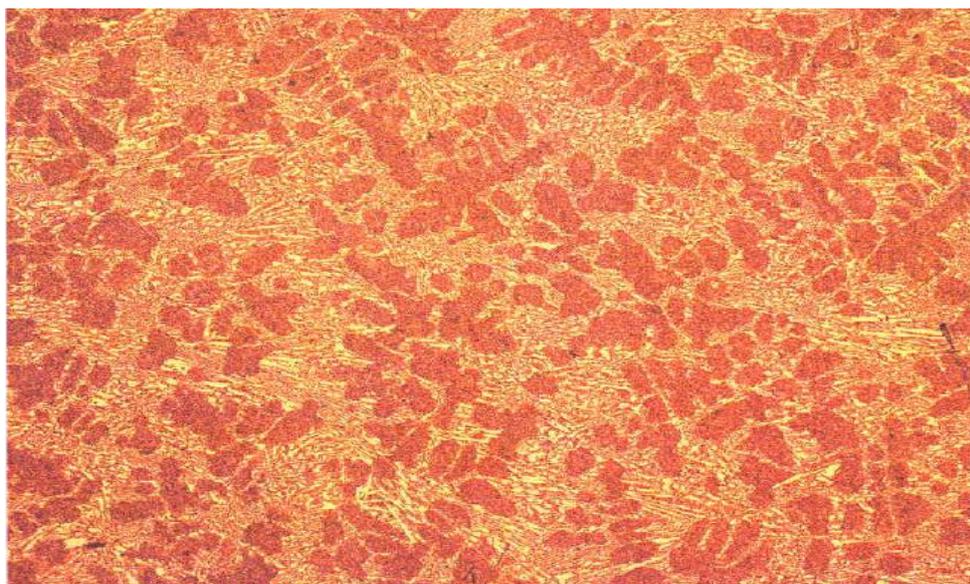


Рисунок 1.5.14 – Микроструктура слоя 3. Увеличение 100

Микроструктура слоя 3 однородная смешанная мелкая, с темно – белыми участками сотового ледобурита, зернистый перлит, цементит, карбиды (рисунок 1.5.14, 1.5.15).

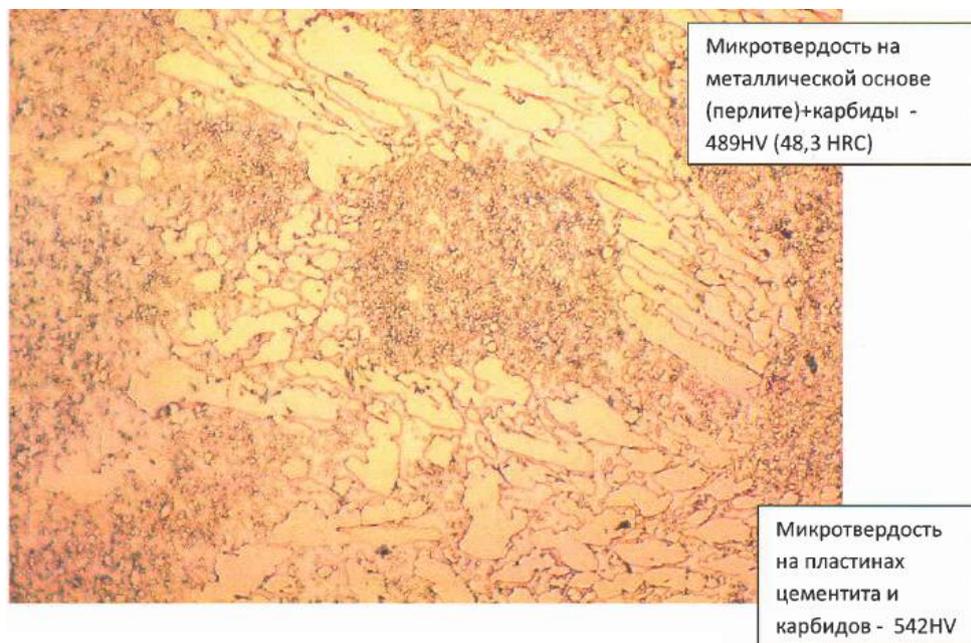


Рисунок 1.5.15 – Микроструктура слоя 3. Увеличение 1000

Таким образом, можно сделать следующий вывод о чугуне и его свойствах, применяемом для производства втулки цилиндрической на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод»:

а) содержание хрома от внешнего слоя к внутреннему увеличивается от 0,162 до 18,74 %;

б) содержание углерода от внешнего слоя к внутреннему снижается от 4,5 до 2,0 %;

в) твердость на металлической перлитной основе возрастает от внешнего слоя к внутреннему от 40,5 до 48,3 HRC;

г) твердость на слоях составляет:

- 1 слой – от 36 до 39,5 HRC;

- 2 слой – от 37 до 38 HRC;

- 3 слой – от 31,5 до 35 HRC;

д) микроструктура слоя № 1 соответствует серому чугуноу с пластинчатым и вермикулярным графитом. Структура, напряженная с множеством микротрещин, хрупкая;

е) микроструктура слоя № 2 неоднородная: пластинчатый перлит, ледебурит перистой и сотовой формы, вторичный цементит, большое количество карбидов. Структура хрупкая, имеет высокие напряжения за счет ориентированного расположения ледебурита перистого строения;

ж) микроструктура слоя № 3 однородная смешанная мелкая, темно-белые участки ледебурита сотового строения, зернистый перлит, цементит, карбиды. Не содержит структур, приводящих к повышенной хрупкости.

з) химический состав слоя № 3 (рабочей части втулки) соответствует чугуноу ЧХ16, вместо требуемого чугуна ЧХ28. Занижено содержание углерода на 0,3 %, марганца на 0,8 %, хрома на 0,6 %.

На основании данных выводов для выполнения технического задания ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» (приложение А) материалом для дальнейших исследований в данной работе выбираем чугуноу ЧХ16. ЧХ28 является заявляемым материалом внутренней рабочей части, по результатам анализа химического состава фактически обнаружен чугуноу ЧХ16. Выбор материала ЧХ16 для исследований обусловлен решением ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод», во – первых, проверить возможности увеличения ресурса работоспособности более дешевого для производства материала. Во – вторых, в настоящее время в производстве оформлена карта разрешения на отклонение по материалу на ЧХ16 вместо ЧХ28. О приведение в соответствие с конструкторской документацией марки чугуна, решение, будет приниматься по итоговым результатам данной исследовательской работы.

2 Современные методы термической и химико-термической обработки деталей гидropоршневой группы буровых насосов

Способы упрочнения поверхности материала и их модификации представлены достаточно разнообразно. Учитывая требования технического задания ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод», в этой работе выбираем для рассмотрения лишь те методы, которые оказывают влияние на износостойкость в чугунах и сталях.

2.1 Поверхностная закалка с нагрева токами высокой частоты

Метод индукционной закалки применяется для повышения эксплуатационного ресурса литых деталей, работающих при циклических нагрузках и подверженных во время эксплуатации интенсивному износу.

С целью обеспечения высокой эксплуатационной долговечности, высокой износостойкости, понижения порога влияния концентраторов напряжений, в упрочняемом слое литой детали нужно создать градиент свойств, с твердой поверхностью, вязкой, но прочной сердцевиной и сжимающими напряжениями в поверхностном слое.

Высокочастотный нагрев происходит следующим образом. Переменный электрический ток высокой частоты, протекает по медному индуктору. Вокруг витков медного индуктора образуется магнитное поле. Оно проникает в поверхность стальной детали, находящейся в это время в индукторе и индуцирует в ней вихревые токи Фуко. Данный процесс и вызывает нагрев поверхности детали.

Необходимо отметить, что в процессе нагрева токами высокой частоты, индуцируемые в стали вихревые токи неравномерно распределяются по сечению детали, а концентрируются на поверхности. Данный эффект неравномерного распределения вихревых токов, вызывает неравномерный нагрев детали. Слои на поверхности мгновенно нагреваются до высоких температур, при этом сердцевина нагревается незначительно. Практика показывает, что толщина слоя зависит от частоты переменного тока. Чем выше частота индукционного тока, тем меньше

глубина их проникновения. Особенно важно при выборе частоты тока учитывать, что кроме глубины нагреваемого слоя, необходимо учитывать геометрическую форму, размеры детали. Последние параметры являются важными и определяют уровень качества закалки токами высокой частоты, технологическую себестоимость процесса упрочнения.

Медный индуктор, один из основных инструментов процесса индукционной закалки.

Массовое распространение получил индуктор – спрейер, имеющий с внутренней или внешней стороны систему мелких отверстий, для подачи закалочной жидкости. Такие индуктора сочетают в себе устройство для одновременного нагрева и закалки. Работают данные индуктора следующим образом. При завершении цикла нагрева детали в индукторе, ток автоматически отключается и из спрейера подается на поверхность детали закалочная жидкость.

При отсутствии в индукторах встроенного спрейера, детали после нагрева сбрасываются в закалочный бак.

При индукционной закалке одновременно за цикл нагрева и охлаждения обеспечивается закалка на определенную глубину и твердость. Эти параметры находится в прямой зависимости от фактического содержания углерода, марганца и хрома в стали.

В результате индукционной закалки повышается износостойкость термообработанных изделий.

Одним из главных условий повышения износостойкости, является увеличение твердости материала. Слой на поверхности детали, закаленный на мартенситную структуру, в зависимости от химического состава, может иметь твердость 55 – 62 HRC, временное сопротивление разрыву 2000 – 2500 МПа, относительное сужение 14 – 32 %.

Как следствие теплового воздействия в процессе нагрева, изменяется микроструктура.

Слой на поверхности детали после закалки токами высокой частоты, твердый, а сердцевина вязкая, что обеспечивает детали, возможность, эксплуатации под

действием более высоких нагрузок, чем детали после классической термической или химико – термической обработке.

Кроме этого, после индукционной закалки в поверхностных слоях создаются высокие остаточные сжимающие напряжения, обеспечивающие высокую циклическую долговечность. Например, предел выносливости наружных колец подшипников из стали ШХ15СГ после индукционной закалки может увеличиться в два раза.

Высокоскоростное охлаждение струйчатим потоком воды в отличие от погружения в ёмкость со спокойной водой, вызывает образование внутренних остаточных напряжений сжатия за счет разницы градиента температур по сечению детали от поверхности до сердцевины.

В настоящее время на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» производится термическая обработка втулок цилиндрических токами высокой частоты с последующей закалкой закалочной жидкостью из спрейера. Материал сталь 70 по ГОСТ 4959 – 79 на внутренней поверхности втулок приобретает упрочненный слой глубиной не менее 2 мм с твердостью от 57 до 62 HRC [1].

Таким образом, метод закалки токами высокой частоты – это эффективный способ упрочнения поверхностных слоев стальных литых деталей. Однако следует учитывать, применение данной технологии для упрочнения чугуновых литых деталей представляется возможным, но с целым рядом ограничений. Отличительный недостаток в том, что нагрев и охлаждение деталей происходит неравномерно. Поверхность детали быстро нагревается и охлаждается, а во внутренних зонах происходит медленное протекание тепловых процессов [27].

2.2. Анализ методов объёмного упрочнения

Методы объёмного упрочнения основаны на воздействии на структуру и свойства материалов, в результате которых получается эффект улучшения определенных характеристик материала. При выборе метода объёмного упрочнения материала необходимо учитывать – исходные структуру, свойства.

Для втулок цилиндрических распространенным способом упрочнения является изотермическая закалка. Этот способ обработки чугунных изделий по сравнению с известными способами значительно улучшает комплекс механических свойств материала.

Следует отметить, что чугун, подвергнутый изотермической закалке, имеет преимущество по сравнению с нормализованным и улучшенным чугуном по твердости и износостойкости. При этом ухудшается его обрабатываемость резанием.

Сущность изотермической закалки чугуна заключается в аустенизации с последующим изотермическим распадом аустенита в промежуточной области, при этом образуется преимущественно структура бейнита [29].

Изотермическая закалка чугуна состоит из двух этапов:

- 1) аустенизация, нагрев до 820 – 870 °С, выдержка при этой температуре;
- 2) переохлаждение аустенита с последующим его распадом в изотермических условиях при температуре от 250 – 300 до 450 – 500 °С.

На ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» производится термическая обработка втулок цилиндрических, изготовленных центробежным литьем из чугунов марки ВЧ50/ЧХ28 по следующей технологии. Термообработка заготовок отливки, отжиг с выдержкой 2 мин/мм при температуре 940 – 970 °С и охлаждение с печью до 150 °С. Требования нормативной документации по твердости после отжига от 28 до 40 HRC, фактически от 38 до 40 HRC. После механической обработки производится, нагрев при температуре 980 – 1050 °С с выдержкой 2 мин/мм и закалкой в масло, с последующим отпуском при температуре 200 – 250 °С с выдержкой 2 мм/мин. После объёмной закалки твердость составляет от 60 до 65 HRC [1].

Типовая термообработка чугуна ЧХ16 предусматривает нормализацию с 900 – 930 °С для получения мартенситно – карбидной структуры высокой твердости (больше 60 HRC).

Нагрев при проведении нормализации варьируется от 900 до 1150 °С. Отпуск после нормализации проводится при 200, 400 и 600 °С с выдержкой 1 час.

С повышением температуры нагрева с 900 до 1150 °С, при нормализации относительная абразивная износостойкость практически линейно увеличивается. Наряду с мартенситом и карбидами (Fe, Cr) в структуре присутствует 60 % остаточного аустенита, снижающего твердость. В процессе изнашивания он частично превращается в мартенсит деформации (20 %), что и обеспечивает повышение абразивной износостойкости. Проведение отпуска в интервале 250 – 600 °С после нормализации с 1150 °С повышает абразивную износостойкость после нагрева на 400 °С и выдержки 1 час, что обусловлено выделением дисперсных карбидов и дестабилизацией аустенита.

Из представленной информации видно, что объёмные виды термической обработки позволяют модифицировать структурные параметры, но уровень упрочнения не позволяет получать твердость поверхности более 65 HRC. Этот параметр существенно ограничивает длительность эксплуатации по износостойкости деталей буровых насосов [22].

2.3 Химико – термическая обработка

В процессе химико – термической обработки происходит изменение химического состава, структуры поверхностного слоя металла за счет диффузии атомами металлов и неметаллов. Данный метод упрочнения не требует дорогостоящего оборудования, обладает простотой использования. Более того, с помощью химико – термической обработки, возможно, обеспечить комплекс свойств, способных повысить срок эксплуатации инструмента в конкретных условиях эксплуатации. К таким видам насыщения относят нитроцементация, азотирование, хромирование, цементация, цианирование, борирование и другие способы, основанные на диффузии атомов [30, 31].

При химико – термической обработке происходит нагрев, выдержка деталей из сталей и сплавов при температурах от 450 до 920 градусов. В качестве рабочей атмосферы могут применяться рабочие атмосферы в различном агрегатном состоянии. После такой обработки, изменяются химический состав, структура и свойства поверхностных слоев. Если химико – термическую обработку сравнивать с другими методами поверхностного упрочнения металлов (дробеструйный наклеп,

поверхностно пластическое деформирование, индукционная закалка), тогда диффузионное насыщение имеет следующие преимущества [32, 33]:

1) Химико – термической обработке подвергают детали любых размеров и конфигураций. Тогда как, например, при поверхностно – пластическом деформировании или индукционной закалке, эти же детали невозможно обработать.

2) При химико – термической обработке гораздо существеннее изменения в свойствах поверхностных слоев, так как кроме структуры, изменяется химический состав.

3) При химико – термической обработке необходимые свойства поверхностных слоев возможно формировать комплексным процессом. На одном оборудовании можно за один технологический цикл выполнить борирование, с последующим азотированием.

Борирование металлов и сплавов, проводят с целью повышения износостойкости. Из литературных источников известно, что износостойкость борированной стали выше в 4 - 6 раз цементированных, 1,5 - 3 раза нитроцементированных, в 3 – 8 раз цианированных, в 2 раза хромосилицированных, в 4 раза закаленной низко отпущенной стали 45 [27].

Борированию подвергают детали нефтегазового оборудования, работающие в условиях гидро – абразивного износа. Независимо от метода диффузионного борирования (твердого, электролизного, газового или вакуумного) условный предел коррозионной усталости среднеуглеродистой стали увеличивается примерно вдвое при толщине диффузионного слоя 0,1 – 0,2 мм [34].

Борирование основано на диффузионном насыщении поверхностного слоя металлов бором при нагреве в необходимой технологической среде. Диффундирующие атомы бора, увеличивают износостойкость стали в 2 раза. В основном широкое применение находит процесс борирования при электролизе расплавленной буры. Температура насыщения может быть в пределах 930 – 950° С, время процесса диффузии от 2 до 6 часов [34].

Применение в действующем производстве твердого, электролизного борирования, лимитируется экологической и производственной безопасностью.

Газовое или вакуумное борирование, подразумевает применение дорогостоящего оборудования.

Чтобы упрочнить поверхность чугунных и стальных изделий, усилив уровень их прочности и износостойкости, а также устойчивости к коррозионным образованиям, применяют такой тип обработки, как азотирование. Азотирование – один из видов химико – термической обработки металлов, который заключается в диффузионном насыщении поверхности изделия азотом.

Различают несколько основных видов азотирования: газовое, азотирование в жидких средах, ионное азотирование (в тлеющем разряде) и карбонитрирование [35, 36, 37].

1) газовое азотирование производится в среде аммиака под воздействием температуры в 500 – 650 градусов. При диссоциации аммиака выделяется атомарный азот. Процесс азотирования становится причиной образования нитридов. Чтобы получить изделие с более высокой прочностью перед азотированием изделие подвергается закалке ТВЧ и высокому отпуску, которые быстро и качественно сможет выполнить установка индукционного нагрева;

2) азотирование в жидких средах – это вид химико – термической обработки стали или чугуна, заключающийся в одновременном диффузионном насыщении поверхности изделия углеродом и азотом. Производится азотирование в жидких средах под воздействием температуры в 560 – 580 градусов в расплаве, который содержит цианистые соли. Для жидкого азотирования могут применяться цианид – цианатные ванны, а также ванны на основе карбамида;

3) карбонитрирование – это способ жидкостного азотирования в расплаве бесцианистых солей, не содержащих яды. Карбонитрирование применяется в целях насыщения поверхности изделия азотом и углеродом для того, чтобы обновить структуру и улучшить свойства металла. Данный процесс химико – термической обработки позволяет получить на поверхности изделия тонкий слой карбонитридов, которые в свою очередь обладают высокой износостойкостью. Процесс карбонитрирования производится в титановом тигле с помощью постоянной воздушной продувке;

4) азотирование в тлеющем разряде или ионное азотирование в сравнении с газовым азотированием, которое мы рассматривали ранее, обладает перечнем преимуществ. Рабочий процесс ускоряется в 1,5 – 2 раза, а сам азотированный слой обладает более высокими параметрами качества [38, 39, 40].

На ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» производилось газовое азотирование поверхность втулок из стали марки 38Х2МЮА на глубину 0,2 – 0,5 мм. В результате термообработки твердость внутренней поверхности втулок доводится у стали марки 38Х2МЮА до HRA 80 и более [1]. В связи с высокой технологической себестоимостью производства втулки цилиндрической из данного материала и большой длительностью процесса насыщения азотом, было принято решение отказаться от применения стали 38Х2МЮА.

Среди способов модификации свойств изнашиваемых поверхностей важное место занимает применение перспективных, высокотехнологичных методов термической обработки, к каким относится химико – термическая обработка в кипящем слое наноструктурированного катализатора.

Это новый аппаратный метод проведения традиционных процессов термообработки и упрочнения металлов.

В настоящее время доведена до промышленного применения технология обработки деталей и инструмента из всех видов сталей, чугуна, цветных металлов, требующих температуру обработки не более 1100 °С:

- нагрев в защитной атмосфере под объемную термообработку;
- цементация;
- нитроцементация;
- азотирование.

Предлагаемая базовая нанотехнология позволяет обеспечить:

- снижение энергопотребления;
- стабильность насыщения поверхностного слоя;
- отсутствие дефектов структур.

Все это достигается за счет максимальной интенсификации процесса диффузии атомов углерода и азота в поверхность обрабатываемых металлических изделий путем совмещения по времени и по месту процесса конверсии углеродо - и азотосодержащих газов, и процесса диффузионного насыщения.

Идея создания нового аппаратного метода, позволяющего достичь указанной цели, основана на свойстве никелевого катализатора (его нано пор) производить конверсию углеродо – и азотосодержащих газов, то есть являться эндогенераторами. Температура процесса конверсии, соответствует температуре проведения процессов термической и химико – термической обработки металлов.

Нанопоры, являясь частью сферических частиц катализатора, доставляются к месту диффузии потоком смеси воздуха и газов, содержащих требуемые для диффузионного процесса атомы углерода и азота. Катализатор (сыпучее вещество, состоящее из сферических частиц), под давлением потока газо – воздушной смеси приходит в состояние «сухого кипения» (частицы начинают движение со скоростью витания, не превышающей критическую). Таким образом, создается кипящий слой катализатора, приобретающий новые уникальные свойства [41].

Новый аппаратный метод позволил, как было показано выше, совместить уникальные свойства наноструктурированного катализатора и кипящего слоя, получить комплекс характеристик, значительно превосходящих действующие традиционные и разрабатываемые технологии и, кроме того, оптимизировать показатели диффузионного насыщения поверхности деталей и инструмента (твердость поверхности, толщина слоя, структурно – фазовый состав, механические характеристики поверхности, её чистота), что стало возможным при условии, когда рабочая атмосфера создается непосредственно «по месту» на насыщаемой поверхности при спонтанном термодинамическом давлении восстановленных атомов в термодинамических и концентрационных полях.

Теоретической базой для создания нанотехнологии термической обработки и химико – термической обработки в наноструктурированном катализаторе являются исследования А.Г. Лейбуш, Б.Г. Людковской [42] и фундаментальные исследования,

результаты которых опубликованы в монографии А.П. Баскакова «Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое» [41].

Исследования авторов, занимающихся изучением свойств кипящего слоя, показали, что:

- теплопроводность насыпного слоя зернистого материала в псевдооживленном состоянии превышает теплопроводность металлов. Высокая теплоемкость и теплопроводность наноструктурированного катализатора (коэффициенты теплоотдачи между кипящим слоем и поверхностью деталей, погруженных в него, достигает $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ и более) обеспечивают равномерность температуры внутри рабочего пространства ($\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$), постоянство температурной активности рабочих атмосфер и высокую скорость нагрева садки, сопоставимую с нагревом в соляных ваннах;

- диффузионные процессы, протекающие в насыщаемых слоях деталей из металлических сплавов в процессах термической и химико – термической обработки в кипящем слое специального катализатора, являются комплексными и много градиентными. Зависят как от градиента температуры, так и от градиента напряжения на поверхности изделия в точке касания при соударении, а также от градиента концентрации и активности диффундирующего вещества. При соответствующих условиях происходит резонанс этих процессов и реализуется аномальный эффект, проявляемый в возрастании коэффициентов диффузии в десятки раз и протекании термической и химико – термической обработки в сжатые временные интервалы. Фактор дисперсности структурных и фазовых составляющих играет очень большую ускоряющую роль разрабатываемых процессов: в несколько десятков раз увеличиваются коэффициенты самодиффузии и диффузии. Скорость насыщения поверхности в 1,5 – 2,5 раза превышает скорость традиционных процессов;

- псевдокипящий катализатор одновременно выполняет функцию «высокотемпературной пескоструйной очистки», насыщаемой поверхности от дефектных остатков диффузионного процесса (неравномерности концентрации атомов и т.п.), что определяет высокую чистоту обрабатываемой поверхности.

Таким образом, в дальнейшем, как правило, исключается необходимость механических обработок деталей для снятия дефектной зоны поверхности детали.

Применение метода химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора, позволяют достигнуть следующих результатов:

1) скорость нагрева деталей в кипящем слое 25 – 30 сек. на 1 мм, что сопоставимо со скоростью нагрева в соляных ваннах и в 3 раза превышает скорость нагрева в камерных печах за счет высокой теплопроводности катализатора, находящегося в состоянии «сухого» кипения;

2) скорость насыщения поверхности в 1,5 – 2,5 раза превышает скорость традиционных процессов, так за первые 2 часа в кипящем слое наноструктурированного катализатора создается цементационный слой толщиной 0,8 мм, в то время как при газовой цементации – 0,35 мм;

3) не требуется (как при традиционных технологиях) очистка и промывка изделий до и после обработки в кипящем слое;

4) уменьшение (по сравнению с традиционными технологиями) деформационности обрабатываемых деталей из – за сокращения времени воздействия высокотемпературного процесса;

5) при изотермическом нагреве изделий под объемную термообработку – исключить пятнистую твердость и появление окалин;

6) при цементации и нитроцементации – повысить стабильность получения качественного слоя; исключить образование дефектных структур слоя (карбидная сетка, внутреннее окисление); исключить образование обезуглероженного слоя при повторном нагреве под закалку, тем самым поднять усталостную прочность на 30 – 35 %, исключить шероховатость, требующую повторной шлифовки, исключить возможность хрупкого разрушения, имеющегося при газовой цементации;

7) при азотировании – исключить последующую механическую обработку поверхности (шлифование), необходимую при традиционных процессах азотирования; обеспечить стабильность получения качественного диффузионного

слоя и обрабатываемой поверхности, повторяемость получаемых характеристик [43].

На основе литературных данных установлено, что износостойкость деталей гидropоршневой группы можно повысить дополнительным модифицированием структурных параметров материала.

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что химико-термическая обработка в кипящем слое наноструктурированного катализатора, позволяет достичь заметного улучшения износостойкости, причем с сокращением времени диффузионных процессов.

Метод химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора, в виду своей новизны и высокой технологической эффективности, представляет наибольший интерес для исследования влияния на свойства втулки цилиндрической бурового насоса.

Учитывая результаты выполненного анализа в разделах 1, 2 и необходимость создания технологии термической обработки обеспечивающей повышение износостойкости втулки цилиндрической, необходимо выполнить следующие работы:

- 1) определить материал, технологию и оборудование для проведения экспериментов;
- 2) разработать методику исследования для проведения экспериментов;
- 3) определить направления и провести исследования.

3. Материал и методика исследования

3.1 Материал, технология и оборудование для химико-термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора

Учитывая проведенные исследования отливок, установлено, что фактически на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» применяется чугун ЧХ16 для внутренней поверхности втулки цилиндрической. Материалом для дальнейших исследований в данной работе выбираем чугун ЧХ16.

В связи с отсутствием на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» технологической базы постановки эксперимента для исследований новых прогрессивных методов упрочнения поверхности втулки, местом проведения выбраны производственные площадки предприятий, обладающие таким техническими возможностями.

Вместо оригинальных втулок цилиндрических производства ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» для исследований использовали втулки, отличающиеся по геометрическим размерам, но аналогичные по технологии литья, материалу, форме. Образцы для применения в опытной химико – термической обработке и испытаниях на износостойкость, представлены на рисунке 3.1.1.

С целью проведения сравнительного анализа влияния опытной химико – термической обработки на испытываемые детали, за эталон взяли втулку термообработанную по аналогичной технологии, применяемой на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод».

Технология изготовления втулок цилиндрических включает в себя центробежное литье, отжиг, механическую обработку, объёмную закалку, финишную механическую обработку.



Рисунок 3.1.1 Втулка цилиндрическая

Термообработка заготовок отливки производилась следующим образом, отжиг с выдержкой 2 мин/мм при температуре 940 – 970 °С и охлаждение с печью до 150 °С. После механической обработки производится нагрев при температуре 980 – 1050 °С с выдержкой 2 мин/мм с закалкой в масло, с последующим отпуском при температуре 200 – 250 °С с выдержкой 2 мм/мин. После объёмной закалки твердость составляет от 60 до 62 HRC [1].

Все детали до опытной термообработки прошли объёмную термообработку по технологии, применяемой на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод».

С учетом выполненного анализа в разделе 2, принято решение опытную химико – термическую обработку проводить, как азотирование в кипящем слое наноструктурированного катализатора.

Процесс обработки основан на способности нанопор носителя катализатора (Al_2O_3), с нанесенным на их поверхность активным компонентом (окись Ni и Mg), осуществлять конверсию углеродо - и азотосодержащих газов при определенных технологических температурах.

Каждая сферическая частица катализатора является системой «нанопор – эндогенераторов», осуществляющих выработку при заданной температуре требуемых для диффузионного процесса атомов азота и углерода, а также кислородной составляющей, являющейся источником внутреннего горения «кипящего слоя».

Находясь во взвешенном состоянии в прямо восходящем потоке газозвушной смеси, частички носителя катализатора, соприкасаясь с насыщаемой поверхностью металла, доставляют непосредственно к месту диффузии атомы азота и углерода в момент их высшей термодинамической активности, что определяется ультрадисперсным структурным состоянием.

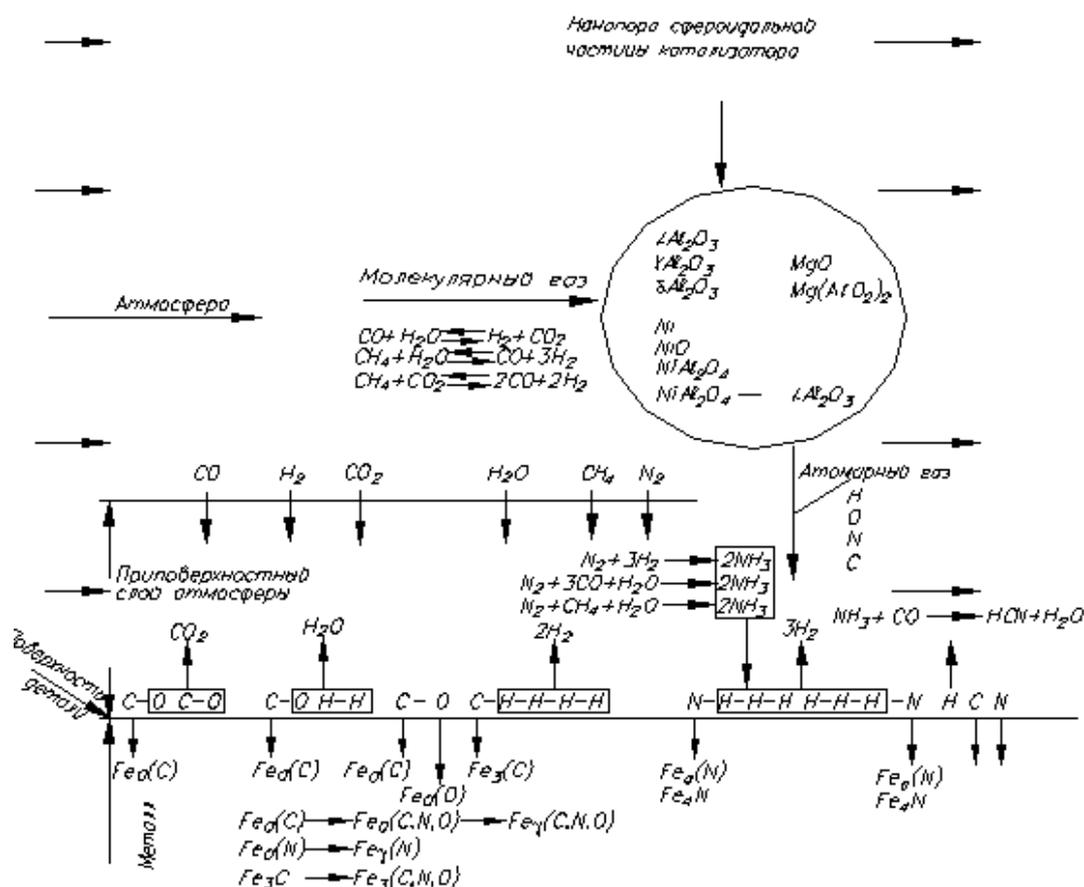


Рисунок 3.1.2 Обобщенная схема диффузионного насыщения в кипящем слое наноструктурированного катализатора

Контакт даже единственной точкой сферической поверхности носителя с любой поверхностью в условиях кипящего слоя создает эффект сплошной

«бомбардировки» поверхности обрабатываемой детали и садки в целом. Равномерно и эффективно обеспечивает поставку восстановленных и диффундируемых азотных и углеродных атомов, и соответственно, максимально позволяет использовать потенциал рабочей газовой атмосферы, т.е. обеспечивать максимально возможную скорость насыщения обрабатываемой поверхности требуемыми элементами. Обобщенная схема диффузионного насыщения стали при цементации, нитроцементации и азотировании в кипящем слое наноструктурированного катализатора приведена на рисунке 3.1.2 [43].

Идентичность максимальной термодинамической активности всех диффундирующих атомов обеспечивает в случае беспрепятственного доступа к насыщаемой поверхности (о чем указано выше) равномерность диффузии во всех точках поверхности и соответственно однородность получаемого слоя, недоступную для других традиционных аппаратных методов.

Таким образом, нанопоры – эндогенераторы в момент контакта атома и его проникновения в кристаллическую решетку насыщаемого металла обеспечивают не только увеличение скорости процесса, но и однородность, а соответственно и равномерность поверхностной твердости, и равномерную глубину (толщину) диффузионного слоя.

Стабильностью каталитических возможностей неизменной массы катализатора обеспечивается постоянство проведения диффузионного процесса. Не требуется, как в других аппаратных методах, дополнительных устройств регулирования концентрации углеродного потенциала насыщающей среды.

Получение оптимальных показателей диффузионного насыщения поверхности деталей и инструмента таких как: толщина слоя, структурно-фазовый состав, механические характеристики поверхности, её чистота, возможно при условии, когда рабочая атмосфера создается непосредственно «по месту» на насыщаемой поверхности при спонтанном термодинамическом давлении восстановленных атомов в термодинамических и концентрационных полях.

Выполнение условий, указанных выше и в планируемых экспериментах для обеспечения проведения химико – термической обработки производится в установках «Корунд».

Итак, обеспечиваются следующие условия:

- обеспечивается необходимая температура для процессов конверсии и диффузии;
- для равномерного распределения температуры, настраивается соответствующее кипение катализатора;
- подача газо – воздушной рабочей смеси выполняется четко по специальным устройствам в соотношении воздуха и углеродо – азотосодержащих газов.

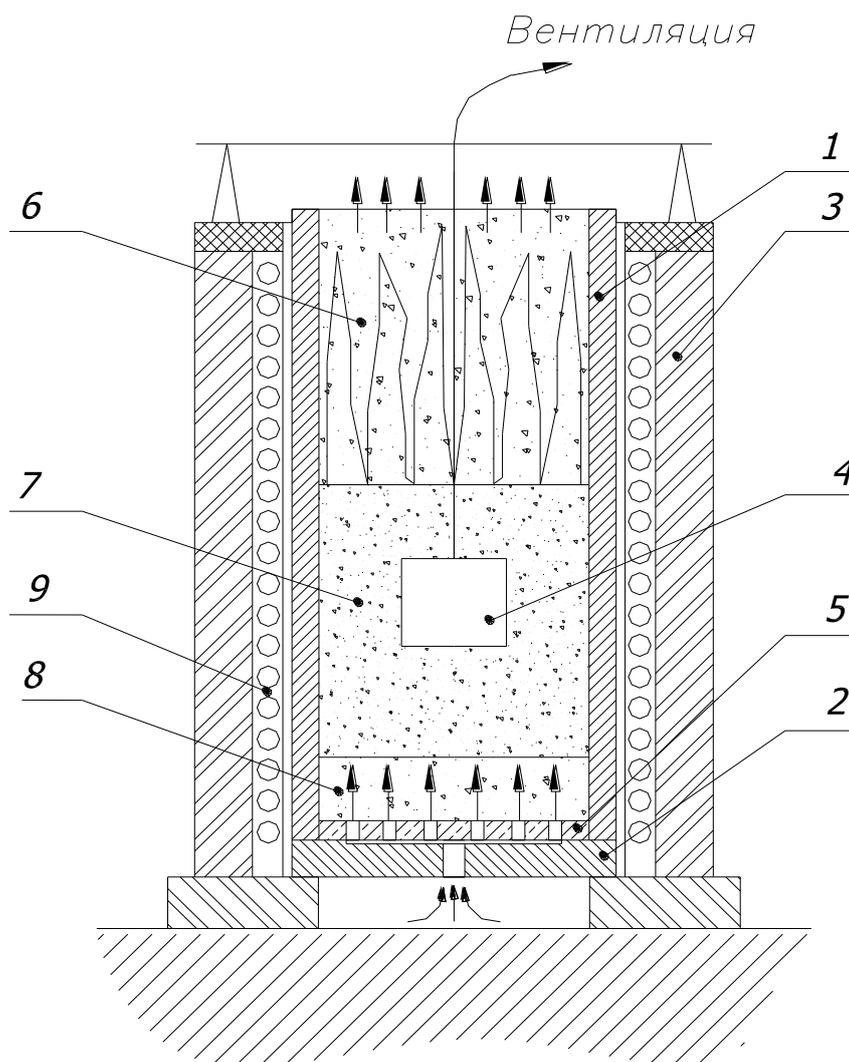
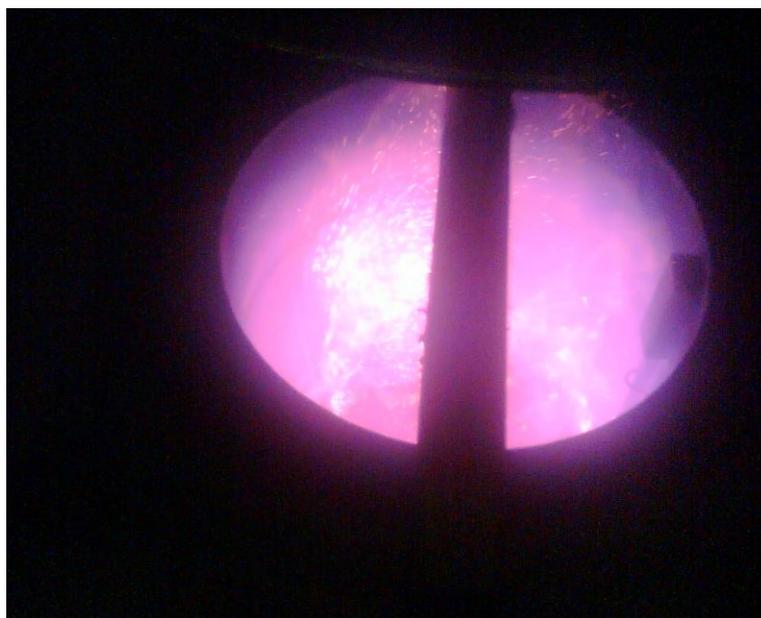


Рисунок 4.1.3 – Принципиальная схема установки типа «Корунд»

1 – тигель; 2 – днище тигля; 3 – корпус печи; 4 – садка с деталями; 5 – решетка для газовой смеси; 6 – зона догара; 7 – рабочая зона; 8 – зона окисления; 9 – нагреватель.

В специальную модернизированную печь шахтного типа (поз. 3, рисунок 3.1.4), (контроль и регулирование температуры осуществляется микропроцессорной системой управления на рисунке 3.1.9), устанавливается тигель (поз. 1, рисунок 3.1.5), изготовленный из жаропрочного жаростойкого сплава. В тигель засыпается наноструктурированный катализатор (рисунок 3.1.6). На дне тигля (поз. 2) из специальной решетки (поз. 5, рисунок 3.1.7) под давлением подается газо-воздушная смесь из воздуха и углеродо – и азотосодержащих газов. Состав смеси – соотношение подаваемого воздуха и газов, регулируется блоком ротаметров (рисунок 3.1.8) и устанавливается в соответствии с требованиями проведения технологического процесса.



а)



б)

Рисунок 3.1.4 – а) Вид в реторте установки «Корунд» в режиме азотирования;
б) Общий вид установки «Корунд» в режиме азотирования



Рисунок 3.1.5 – Жаропрочный тигель с наноструктурированным катализатором



а)



б)

Рисунок 3.1.6 – а) Наноструктурированный катализатор высыпан из донной части тигля; б) Общий вид наноструктурированного катализатора

Блок ротаметров устанавливает, регулирует объём подаваемой газозвушной смеси, оказывающий прямое воздействие на равномерность и стабильность «кипения» катализатора.

Химико – термическая обработка изделий происходит в тигле. Тигель является «реакционной трубой» с тремя зонами:

- 1 – зона (поз. 8) является зоной окисления при нагреве входящего потока в придонной части тигля;



Рисунок 3.1.7 – Специальная решетка в донной части тигля



Рисунок 3.1.8 – Блок ротаметров

- 2 – зона (поз. 7) является рабочей зоной восстановления необходимых рабочих элементов из газо-воздушной смеси (С, N, O, H и т.п.);

- 3 – зона (поз. 6) – в верхней части трубы – является зоной догара всех продуктов, находящихся у выхода из реакционного пространства трубы, и играет роль пламенной защиты как от внешнего атмосферного воздействия на рабочую

зону тигля, так и воздействия продуктов реакции на внешнюю атмосферу и пространство вокруг тигля.



а)



б)

Рисунок 3.1.9 – а) Комплексная система управления установками «Корунд»; б) Микропроцессорная система управления установкой азотирования «Корунд»

После выхода в автоматический режим протекания процесса (требуемая температура, обеспечено кипение катализатора (рисунок 3.1.10), подается газо-

воздушная смесь в заданном соотношении), в рабочей зоне размещают садку с обрабатываемыми изделиями.

За счет уникальных свойств применяемого наноструктурированного катализатора, воспроизводимость стабильных результатов процесса обеспечивается свойствами – константой каталитической активности активного компонента и константной удельной каталитической поверхности заданной развитой системой пор. Наличие в носителе пор на всю его глубину позволяет по мере неизбежного его износа открываться новым, ранее закрытым, порам, в результате чего эффективность каждой частицы катализатора, как мини – генератора газовых атмосфер, сохраняется до ее полного физического износа.

При сохранении первоначальной массы катализатора, путем периодического добавления новой массы (взамен вынесенных разрушенных частиц), остается неизменным его каталитический потенциал.

Контроль установленного регламентом уровня катализатора, засыпанного в тигель, и его восстановление (досыпание новой массы) производится по уровнемеру периодически перед запуском установки.

Стабильность и повторяемость процессов подтверждается данными мониторинга применения технологии на действующих предприятиях, проводимого в течение 10 лет.

Предприятия сообщают о стабильности получаемых результатов обработки деталей по технологии термической и химико – термической обработки в наноструктурированном катализаторе, обеспечиваемых применением катализатора в соответствии с технологическим регламентом. Регламент предусматривает использование катализатора до полного износа частиц носителя и выноса их остатков газо-воздушным потоком, с добавлением нового объема, взамен вынесенного, до требуемой массы. Полное обновление катализатора, при двухсменной работе оборудования, осуществляется в течение 1,5 – 2 лет [43].

Реализуемость решений, применяемых в предлагаемой базовой нанотехнологии, подтверждается результатами применения технологии и оборудования в условиях действующих производств (приложение Б, В).

Нанотехнология термической и химико – термической обработки в наноструктурированном катализаторе применима на предприятиях всех машиностроительных отраслей, для всех типов сталей и сплавов.



а)



б)

Рисунок 3.1.10 – а) Стадия начального кипения катализатора;
б) Активное кипение катализатора под действием газо – воздушной смеси

Таким образом, способность разработанной установки создавать и контролировать требуемые температурные режимы и состав поступающей газовой смеси при наличии наноструктурированного катализатора (в

состоянии «сухого» кипения осуществляет процесс конверсии диффундирующих атомов непосредственно на насыщаемой поверхности) позволяет получить недоступные другим аппаратным методам:

- скорость диффузионного процесса;

- качество получаемого слоя, с точки зрения структурно – фазового состава, толщины слоя, механических характеристик поверхности, её чистоты;

- повторяемости результатов проводимого процесса.

3.2 Наноструктурированный катализатор – основной компонент аппаратного метода

Для термической и химико-термической обработки в наноструктурированном катализаторе, применяется трегерный алюмоникельмагниевого катализатор АОК-71-31.

Данный катализатор представляет собой микросферический оксид алюминия, на который нанесен активный компонент в виде соединений никеля и магния.

Как известно, прочность и термостабильность катализатора определяется в первую очередь состоянием оксида алюминия. Наиболее термоустойчивой фазой оксида алюминия является корунд – а (альфа) – Al_2O_3 . В ходе термообработки до $1250^\circ C$ соединения алюминия претерпевают ряд полиморфных фазовых переходов, сопровождающихся перестройкой кристаллической решетки метастабильных (неустойчивых) фаз тригидроксидов (гиббсита), байерита, псевдобемита) в низкотемпературные фазы оксида алюминия (γ (гамма) – Al_2O_3 , χ (хи) – Al_2O_3 , η (эта) – Al_2O_3 , затем в высокотемпературные фазы оксида алюминия θ (тэта) – Al_2O_3 , σ (дельта) – Al_2O_3 и κ (каппа) – Al_2O_3), затем в динамически устойчивую фазу корунда а (альфа) – Al_2O_3).

Разработана технология приготовления термостабильного катализатора АОК-71-31 путем введения в состав носителя структурных промоторов (лантаноиды), которые сдвигают фазовые превращения γ (гамма) – Al_2O_3 в а (альфа) – Al_2O_3 в область более высоких температур, что позволяет сохранить высокую удельную поверхность и прочность носителя при температурах более $1000^\circ C$. Такой носитель при температуре $1000^\circ C$ представляет собой преимущественно

высокотемпературную фазу θ (тэта) – Al_2O_3 с поверхностью более $50 \text{ м}^2/\text{г}$. Катализатор, приготовленный на данном носителе, имеет высокую механическую прочность, достаточно высокую удельную поверхность, активное состояние соединений никеля и их прочное закрепление на носителе. В таблице 3.2.1 приведены свойства всех марок катализатора АОК – 71 – 31 [44].

Важным фактором, влияющим на активность никельмагниевого катализатора, является подбор носителя, обеспечивающего большую механическую прочность, высокоразвитую каталитическую поверхность и способность к интеркаляции (внедрению с химическим взаимодействием) соединений активного компонента и промотора в межслоевое пространство плоскопараллельных наноразмерных пор. Требуемая каталитическая поверхность задается развитой системой пор, имеющих оптимальные наноразмеры, которые обеспечивают наноструктурированное распределение (ультрадиспергирование) активного компонента на поверхности носителя, а также не создают стерических (пространственных) препятствий для подвода к каталитической поверхности реагентов и отвода газообразных продуктов реакции (в том числе азот, водород, углерод в виде атомарных соединений). Размер пор позволяет снять внутридиффузионное торможение процесса. Эффективность процесса напрямую зависит от площади каталитической поверхности диффузионного покрытия, что достигается минимизацией размера нанопор, обеспечиваемой методами, описанными в «технологии соисполнителя».

Скорость диффузионных процессов, чистота обработанной поверхности (как результирующие показатели всех составляющих факторов, влияющих на процесс), получаемые в промышленных условиях, совпадают с расчетами, проводимыми по данным указанных теоретических исследований, что подтверждает на практике правильность вывода исследований.

Параметры размера пор при производстве обеспечиваются применяемой технологией. Носитель для катализатора – слоистый гидроксид алюминия в рентгеноаморфной форме, получают методом термохимической активации тригидроксида алюминия $Al_2O_3 \cdot n H_2O$, $n = 3$ (гидраргиллита).

Таблица 3.2.1 – Технические характеристики катализатора

Наименование показателя	Норма		
	Марка А	Марка В	Марка С
1. Внешний вид: форма цвет	Мелкая сфера Голубой, серый		
2. Фракционный состав: Массовая доля фракции: Диаметром 0,4 – 1,0 мм, % не менее Диаметром 0,63 – 1,25 мм, % не менее Диаметром менее 0,4 мм, % не более	90 - 4	90 - 4	- 90 4
3. Насыпная плотность, г/см ³ , в пределах	0,7-0,8	0,7-0,9	0,7-0,8
4. Потери массы при истирании за 30 мин, % не более	9,0	9,0	9,0
5. Удельная поверхность, м ² /г, не менее	150	50	150
6. Потери массы при прокаливании, % не более	6,0	5,0	6,0
7. Массовая доля оксида никеля, % не менее Массовая доля оксида магния, % не менее	3,8 0,6	3,8 0,6	3,8 0,6
8. Фазовый состав оксида алюминия	γ (гамма)	θ (тэта) + γ (гамма)	γ (гамма)

Процесс термохимической активации гидраргиллита осуществляется в вертикальных реакторах в режиме пневмотранспорта микросферических частиц

гидраргиллита с топочными газами при температурах 800-1200°C и временах контакта от долей до нескольких секунд, то есть в условиях термоудара.

Под воздействием термоудара происходит быстрое частичное удаление межслоевой воды из структуры гидраргиллита (дегидратация) с образованием слоистого наноструктурированного кристалла в виде кислородсодержащего соединения алюминия формулы $Al_2O_3 \cdot n H_2O$, $n = 0,3 - 1,5$. При этом частицы полученного продукта сохраняют форму частиц исходного гидраргиллита (псевдоморфный переход), но из кристаллического состояния продукт переходит в рентгеноаморфное, метастабильное состояние, характеризующееся повышенной реакционной способностью.

В результате термохимической активации получается микросферический носитель нового поколения, который обладает новыми уникальными свойствами: носитель представляет собой слоистый гидроксид алюминия формулы $Al_2O_3 \cdot n H_2O$, $n = 0,3 - 1,5$ с повышенной реакционной способностью.

Размер пор разработанного и производимого катализатора определен по фотографиям, сделанным со сканирующего электронного микроскопа JSM – 35С в режиме SEI при ускоряющем напряжении 25 кв и разрешении 20 мм, увеличении в 2000 раз и 10000 раз рисунке 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3.

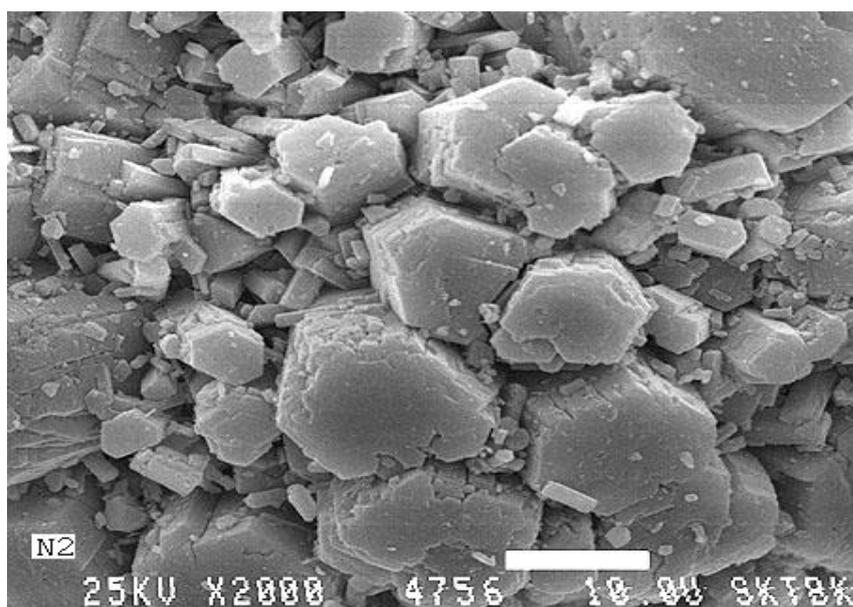


Рисунок 3.2.1 – Увеличение в 2000 раз. Масштаб:10 мкм (10^4 нм)

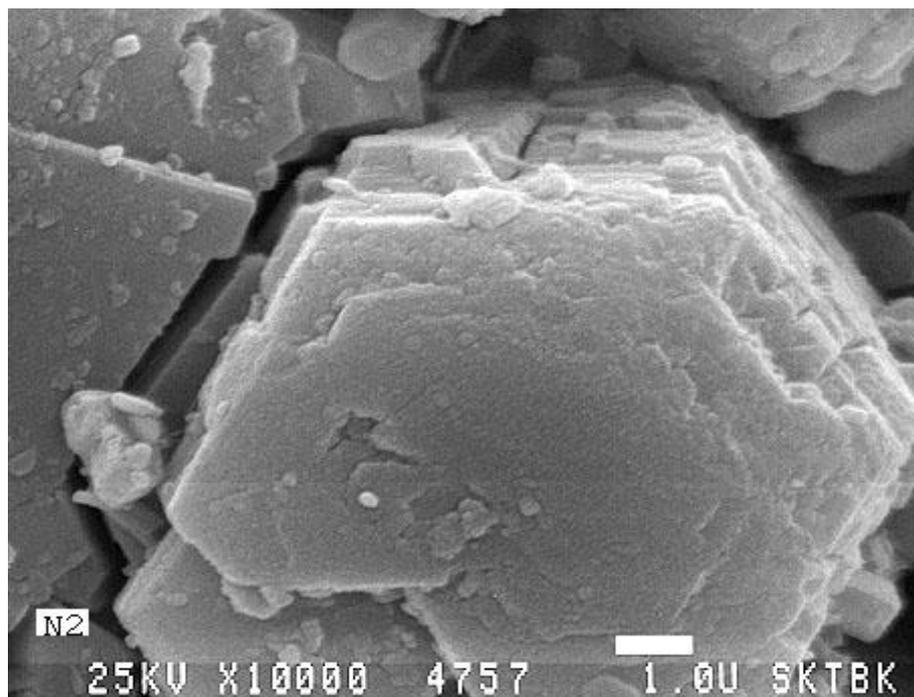


Рисунок 3.2.2 – Увеличение в 10000 раз. Масштаб: 1 мкм (10^3 нм)

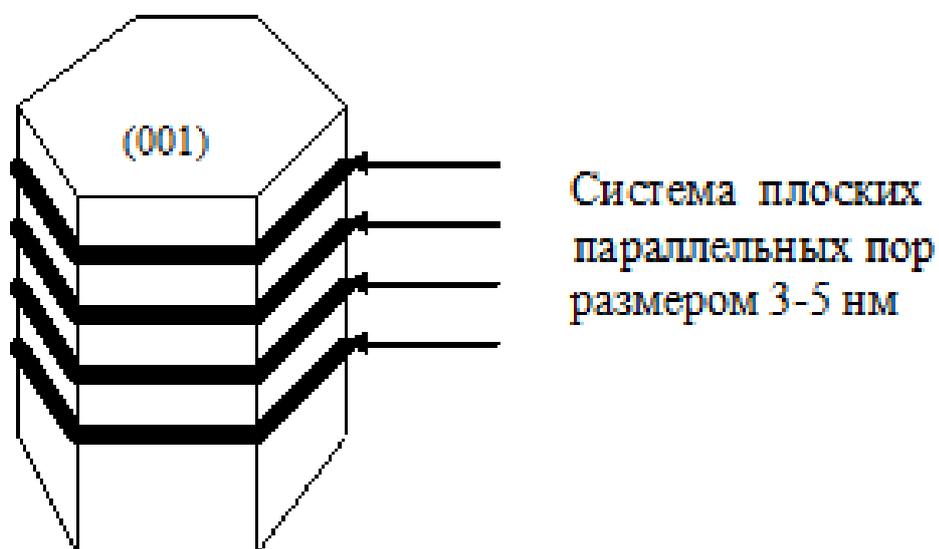


Рисунок 3.2.3 – Схема гексагонального стержня частицы носителя с расщеплением по грани (001) на плоские параллельные поры размером 3 – 5 нм.

Препарат для съемки предварительно наносился на латунную подложку и затем на него методом ионного распыления в вакууме наносился проводящий слой золота толщиной около 10 ангстрем.

На снимке виден гексагональный стержень частицы носителя с расщеплением по грани на плоские параллельные поры размером 3 – 5 нм.

Контроль размера пор при производстве осуществляется опосредовано, через контроль показателя «удельной поверхности» катализатора, указанной в ТУ 6 – 68 – 119 – 2004, в соответствии с которым измерение «удельной поверхности» осуществляется по ГОСТ 23401.

ОАО «Катализатор», г. Новосибирск, разработал для реализации, предлагаемой базовой нанотехнологии и освоил производство необходимого алюмоникельмагниевого катализатора, применив следующие методы получения каталитических материалов:

- метод интеркаляции ультрадисперсных частиц соединений - предшественников каталитической композиции в межслоевое пространство высокоактивного, метастабильного гидроксида алюминия слоистой структуры в рентгеноаморфной форме с наноструктурированной поверхностью кристаллов;

- метод гидротермального синтеза наноразмерных сложных оксосоединений металлов активной каталитической композиции на носителе;

- метод гетероэпитаксиального взаимодействия между соединениями металлов активной каталитической композиции и носителем.

Процесс интеркаляции осуществляется гидротермальным синтезом наноразмерных сложных гидроксосоединений с последующим удалением избытка воды сушкой и формированием катализатора методом эпитаксии (ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого). Причем согласно технологии приготовления, в ходе эпитаксии формируется активный компонент в ультрадисперсном состоянии (менее 1 нм) на носителе в одинаковых структурных типах кристаллической решетки (в виде кубической шпинели).

В результате интеркаляции соединений никеля и магния в межслоевое пространство носителя происходит формирование активного компонента и

структурообразование зерна катализатора за счет развития сетки химических связей между компонентами и носителем, а также срастания ультрадисперсных частиц компонентов в наноразмерные аморфные частицы. Такой тип структурообразования относится к кристаллизационным (конденсационным) и дает наиболее прочные структуры.

При термообработке катализатора формируется вторичная пористая структура с оптимальным размером пор и удельной поверхностью. В отличие от традиционных пропиточных катализаторов, где после пропитки носителя в катализаторе объем пор и их размер снижается, при приготовлении катализатора алюмоникельмагниевого катализатора на наноструктурированном высокоактивном носителе с $S_{уд.} = 90 - 120 \text{ м}^2/\text{г}$, объемом пор $0,15 \text{ см}^3/\text{г}$, радиусом пор около 3 нм, объем пор и их радиус увеличивается: $V_{пор.} = 0,2 - 0,3 \text{ см}^3/\text{г}$, радиус пор = 5 – 8 нм, величина удельной поверхности сохраняется или увеличивается до $150 \text{ м}^2/\text{г}$.

Все перечисленные выше процессы обеспечивают высокую степень закрепления активного компонента на носителе и высокую термостабильность катализатора. Так в условиях эксплуатации активный компонент и носитель не только сохраняют прочную связь, но их кристаллические решетки одинаково реагируют на изменение среды и температуры. Это существенное отличие данного катализатора от традиционных пропиточных катализаторов, приготовленных на традиционных алюмооксидных носителях. Последние имеют разные типы кристаллических решеток веществ носителя и активного компонента и под воздействием изменяющихся внешних условий процесса кристаллические решетки носителя и активного компонента перестраиваются в соответствии со своим собственным генезисом. Следствием является ухудшение физико-химических и каталитических свойств катализатора: потеря активности, механической прочности, необратимое изменение пористой структуры (снижение удельной поверхности, радиуса пор и т.д.).

Как указывалось, выше, основой наноструктурированного катализатора является алюмосодержащий носитель в виде гидроксида алюминия в

рентгеноаморфной форме с наноструктурированной поверхностью кристаллов, на который нанесен активный компонент в виде соединений никеля и магния.

Носитель имеет сферическую форму частиц, состоящих из гексагональных стержней с размером стороны стержня около 103 нм и системой плоскопараллельных пор радиусом 3 – 5 нм, объемом пор до 0,3 см³/г, удельной поверхностью около 100 м²/г. Носитель обладает повышенной химической активностью, которая проявляется в его способности к интеркаляции (внедрению с химическим взаимодействием) соединений активного компонента и промотора в межслоевое пространство плоскопараллельных наноразмерных пор. При термообработке катализатора формируется активный компонент в ультрадисперсном (менее 1 нм) состоянии. Причем и носитель, и активный компонент формируются в одинаковых структурных типах кристаллической решетки (в виде кубической шпинели). Это определяет высокую степень закрепления активного компонента на носителе и высокую термостабильность катализатора. В условиях эксплуатации активный компонент и носитель не только сохраняют прочную связь – их кристаллические решетки одинаково реагируют на изменение среды и температуры.

3.3 Основные преимущества предлагаемого аппаратного метода

Главным результатом применения термической обработки и химико-термической обработки в наноструктурированном катализаторе является улучшение качественных эксплуатационных характеристик производимой машиностроительными предприятиями продукции, за счет обеспечения стабильности получения заданного структурно-фазового состава, механических характеристик поверхности обрабатываемых деталей, подлежащих термообработке и упрочнению.

Разработанный аппаратный метод изотермического нагрева и диффузионного насыщения поверхностей изделий, комплексно использующий эффекты «кипения» сухой массы катализатора и каталитические возможности его нанопор позволяют достигнуть следующих результатов:

1) скорость нагрева деталей в кипящем слое 25 - 30 сек. на 1 мм, что сопоставимо со скоростью нагрева в соляных ваннах и в 3 раза превышает скорость нагрева в камерных печах за счет высокой теплопроводности катализатора, находящегося в состоянии «сухого» кипения;

2) скорость насыщения поверхности в 1,5 - 2,5 раза превышает скорость традиционных процессов, так за первые 2 часа в кипящем слое наноструктурированного катализатора создается цементационный слой толщиной 0,8 мм, в то время как при газовой цементации – 0,35 мм;

3) снижается загрязнение окружающей среды. Выделение вредных веществ в атмосферу находится в рамках предельно допустимых концентраций. Утилизации твердых отходов не требуется. Процесс взрывобезопасен;

4) не требуется использование (необходимого при традиционных технологиях) эндогенератора, а также устройства регулирования концентрации углеродного потенциала насыщающей среды в процессе обработки;

5) возможна быстрая переналадка оборудования при переходе от одного процесса к другому;

6) не требуется (как при традиционных технологиях) очистка и промывка изделий до и после обработки в кипящем слое;

7) уменьшение (по сравнению с традиционными технологиями) деформаций обрабатываемых изделий из-за сокращения времени воздействия высоких температур.

Создание условий для осуществления процесса активного диффузионного насыщения, т.е. перемещения выделенного атома из нанопоры непосредственно в кристаллическую решетку насыщаемой поверхности с получением одновременно эффекта пескоструйной её обработки, позволяющей подготовить поверхность к следующему контакту, обеспечивает равномерность диффузии во всех точках обрабатываемой поверхности и, соответственно, однородность полученного слоя.

Все это позволит:

- при изотермическом нагреве изделий под объемную термообработку – исключить пятнистую твердость и появление окалин;

- при цементации и нитроцементации – повысить стабильность получения качественного слоя; исключить образование дефектных структур слоя (карбидная сетка, внутреннее окисление); исключить образование обезуглероженного слоя при повторном нагреве под закалку, тем самым поднять усталостную прочность на 30-35%, исключить шероховатость, требующую повторной шлифовки, исключить возможность хрупкого разрушения, имеющегося при газовой цементации;

- при азотировании – исключить последующую механическую обработку поверхности (шлифование), необходимую при традиционных процессах азотирования; обеспечить стабильность получения качественного диффузионного слоя и обрабатываемой поверхности, повторяемость получаемых характеристик;

- при всех видах обработки повысить (по сравнению с традиционными процессами обработки) чистоту обрабатываемой поверхности на 2 класса.

Опыт успешного применения разработанной технологии в условиях действующего производства полутора десятков предприятий, подтверждает преимущества предложенной технологии, основанной на использовании каталитических свойств наноструктурированного катализатора, находящегося в состоянии «сухого» кипения приложения Б, В).

В результате после завершения разделов 3.1, 3.2, 3.3 необходимо отметить, что для проведения дальнейших экспериментов выбран материал втулки цилиндрической ЧХ16, который будет азотироваться в кипящем наноструктурированного катализатора АОК-71-31 на установке «Корунд».

3.4 Методы исследования процесса химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора

Контроль и исследование опытных процессов азотирования осуществляли по технологическим параметрам: температурный режим, время обработки, расход технологических газов, твердость поверхности, толщина азотированного слоя.

Температурный режим и время обработки определяли по контрольно-измерительным приборам на шкафах управления термического оборудования, расход технологических газов контролировали с помощью ротаметров, имеющихся в системе газообеспечения печей.

Опытные режимы азотирования проводили на промышленном оборудовании с полной загрузкой садок.

Определение поверхностной твердости после азотирования проводили непосредственно на поверхности и косвенно на металлографическом шлифе.

Микротвердость на поверхности определяли с помощью микротвердомера «Карл Франк» (ФРГ), предварительно подготовив место замера тщательной полировкой. Микротвердость азотированного слоя на металлографическом шлифе измеряли на твердомере фирмы «Tukon» (Англия) путем нанесения на участок зоны соединений отпечатка алмазным наконечником с ромбическим основанием при нагрузке 50 грамм, результаты замеров выражали в числах твердости. Значения твердости переводили из шкалы Виккерс в Роквелл.

Образцы для металлографических исследований, вырезали на отрезном станке «Дискотом» (Дания) абразивным кругом марки 14A16HM211БПВ. Образцы вырезали в плоскости, перпендикулярной к слою упрочнения при частоте вращения круга, равной 2000 об/мин при постоянной подаче охлаждающей жидкости «Олинол» и запрессовывали в пластмассу (бутакрил). Запрессовку проводили на установке «Диплопресс» при температуре до 170 °С и давлении от 2 до 3 бар, затем охлаждали до комнатной температуры и удаляли из формы. В результате получали цилиндрические шлифы диаметром 25 мм и высотой 10 – 15 мм.

Шлифование проводили вручную на станках «Метасинекс» (частота вращения шлифовальных кругов 200 об/мин) путем истирания поверхности образцов при последовательном переходе ко все более мелкозернистой абразивной водостойкой бумаге (марок Л25, 4С8П, М40, М28). Шлифование проводили «мокрым» способом с целью предохранения абразивного материала от загрязнения частицами обрабатываемого материала, замазывания шлифуемой поверхности продуктами обработки, а также от прогрева образца, так как в результате трения происходит его значительный разогрев, приводящий к изменению истинной микроструктуры (отпуск).

Механическую полировку шлифов проводили на сукне с применением суспензии окиси хрома в дисциллированной воде (размеры частиц не более 0,05

мкм) с помощью станка «Нерис» (частота вращения полировального круга 500 – 700 об/мин). Промывку производили под струей теплой воды, сушку под струей теплого воздуха.

Химическое травление производили путем погружения шлифа в травящий реактив (4 % спиртовой раствор азотной кислоты). Момент окончания процесса травления определили по степени потускнения поверхности (10 – 15 секунд). После окончания травления шлиф промывали теплой водой и сушили в потоке теплого воздуха. Определение толщины карбонитридного слоя проводили с помощью окуляра с масштабной линейкой.

Остаточные напряжения первого рода в упрочненных слоях определяли на цилиндрических образцах из ЧХ16 диаметром 25 мм, длиной 100 мм (рисунок 3.4.1) обработанных совместно с втулками по опытному и серийному технологическим режимам. Эта методика основана на измерении деформаций изгиба, возникающих при послойном снятии металла путем электролитического травления полуцилиндрической поверхности.



Рисунок 3.4.1

Испытания на износостойкость, проводились с помощью станка для испытаний материалов на изнашивание (рисунок 3.4.2) содержащего пульт

управления (1), электродвигатель (2), механизм протяжки абразивной ленты (3), камера с поддоном для улавливания применяемых жидкостей (4), устройства подачи нагрузки на испытуемый образец (5), механизм крепления образца (6), образец для испытаний (7), насос для подачи абразивной жидкости (8), корпус станка (9), опорный стол (10).

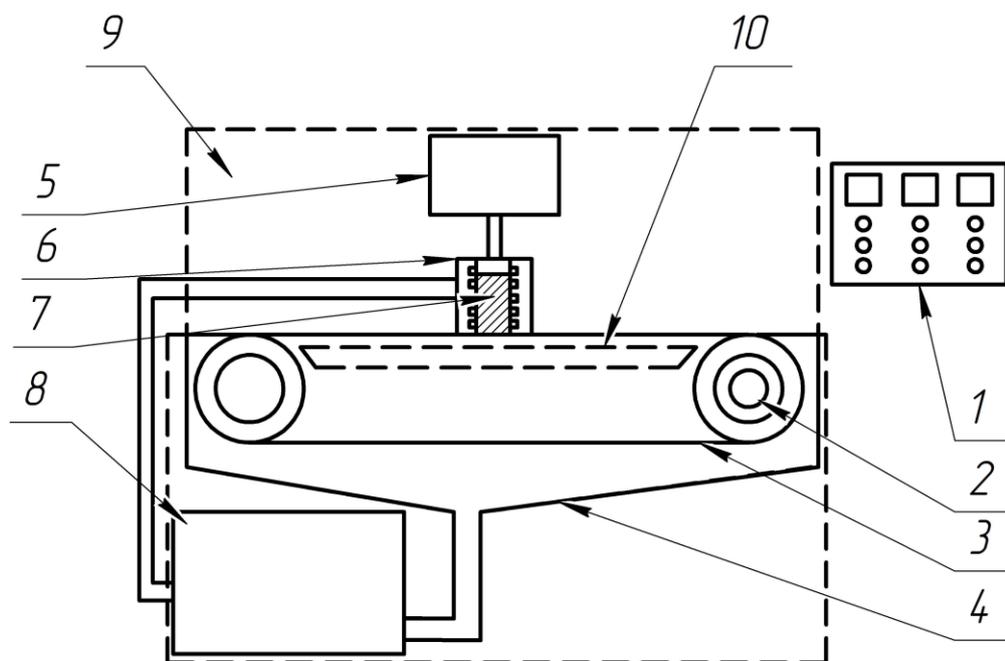


Рисунок 3.4.2 – Станок для испытания на гидроабразивное изнашивание

В результате разработана методика для дальнейших исследований влияния азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора на свойства втулки цилиндрической.

4 Исследование влияния параметров химико – термической обработки на свойства втулки цилиндрической

4.1 Исследование влияния процесса газового азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора на свойства упрочненного слоя втулки цилиндрической

Работы проводили в следующих направлениях:

- исследование свойств упрочненного слоя втулки цилиндрической после азотирования в установке «Корунд»;
- исследование уровня и распределения остаточных напряжений в упрочненном слое цилиндрических образцов после азотирования в установке «Корунд»;
- исследование износостойкости упрочненной поверхности втулки.



Рисунок 4.1.1 – Пример расположения в садке втулки цилиндрической на установке «Корунд»

Для исследования свойств, износостойкости втулки цилиндрической после азотирования в установке «Корунд», в термическом цехе в течение месяца контролировали процессы азотирования. При этом постоянно поддерживали на требуемом уровне технологические параметры процесса – температуру, время насыщения, расход технологических газов для насыщающей смеси в печи.

Пример расположения в садке втулки цилиндрической, представлен на рисунке 4.1.1. Цилиндрические образцы для определения остаточных напряжений (рисунок 4.1.2), обрабатывались совместно с втулками цилиндрическими.



Рисунок 4.1.2 – Цилиндрические образцы после азотирования, охлаждения в масле и промывки

4.1.1 Исследование свойств упрочненного слоя втулки цилиндрической после азотирования в установке «Корунд»

Для эксперимента разработаны режимы химико – термической обработки, сведены в таблицу 4.1.1.1

Экспериментальная химико – термическая обработка в наноструктурированном катализаторе, производилась следующим образом.

Таблица 4.1.1.1 - Технические характеристики образцов

Номер образца	Температура насыщения, °С	Время насыщения, час	Расход технологических газов, м ³ /час			Среда охлаждения
			СН ₄	воздух	NH ₃	
1 этап						
1	575±5	4	1,1	3,9	1,5	Аммиак
2	575±5	4	1,1	3,9	1,5	Аммиак + МЗМ – 16
3	575±5	6	1,1	3,9	1,5	Аммиак
4	575±5	6	1,1	3,9	1,5	Аммиак + МЗМ – 16
2 этап						
5	575±5	6	1,4	6	1,6	Аммиак + МЗМ – 16
6	600±5	6	1,4	6	1,6	Аммиак + МЗМ – 16
7	620±5	6	1,4	6	1,6	Аммиак + МЗМ – 16
8	650±5	6	1,4	6	1,6	Аммиак + МЗМ – 16

Включали установку «Корунд», устанавливали температуру 500 °С. При достижении температуры 400 °С, подавали в печь воздух – 100 делений по шкале ротаметра при закрытой крышке. При достижении в печи температуры 460 °С, включали подачу природного газа (метана). Общий расход газовой смеси 6,5 – 9 м³/час при соотношении компонентов. Подаваемый объем газовой смеси, обеспечивал кипение порошка катализатора в тигле печи. Далее включали подачу аммиака. Закрывали крышку над тиглем и поджигали свечу дожига отходящей газовой смеси. Через 40 минут поднимали температуру в печи до температуры азотирования и загружали детали в печь. Выдерживали садку с деталями с учетом требований экспериментальных режимов. По окончании выдержки, отключали нагрев печи, перекрывали подачу воздуха и метана. Подавали в печь только аммиак 2,5 м³/час до 400 °С., затем перекрывали подачу аммиака и

охлаждали с печью до 200 °С или сразу перемещали детали в маслобак для охлаждения в масле. Температура масла поддерживалась на отметке 60 ± 5 °С.

В процессе экспериментальной обработки изменялись следующие параметры:

- увеличивали подачу для метана с 1,1 до 1,4 м³/час;
- увеличивали подачу для аммиака с 1,5 до 1,6 м³/час;
- увеличивали подачу для воздуха с 3,9 до 6 м³/час;
- время насыщения увеличивалось с 4 до 6 часов;
- температура насыщения увеличивалась с 575 ± 5 до 650 ± 5 °С;
- среда охлаждения изменялась, после аммиака, добавлялось охлаждение в

масло МЗМ – 16.

В связи с ограниченным количеством опытных образцов и загрузкой установок «Корунд» термообработкой деталей действующего производства, было принято решение выполнить эксперимент по опытной обработке в 2 этапа. По результатам 1 этапа, принималось решение по экспериментальным режимам химико – термической обработки 2 этапа.

В результате всего эксперимента, было отобрано всего 8 образцов втулки цилиндрической, столько же цилиндрических образцов. Результаты исследования втулок цилиндрических после обработки по экспериментальным режимам сведены в таблице 4.1.1.2

Приведенные данные 1 этапа таблицы 4.1.1.1 и 4.1.1.2, свидетельствуют о увеличении величины твердости поверхности относительно исходной (после объёмной закалки) с 61 до 66 HRC при образовании карбонитридного слоя от 14 до 26 мкм, при общей толщине слоя от 0,3 до 0,4 мм. На 1 этапе эксперимента, при увеличении времени насыщения с 4 до 6 часов, наблюдается увеличение толщины карбонитридного слоя на 14 мкм и общей толщины слоя на 0,1 мм.

Твердость поверхности по шкале HRC не изменилась и составила 65 – 66 единиц.

Следует обратить внимание, что по шкале HV отмечен рост твердости поверхности с 822 до 858 единиц.

Таблица 4.1.1.2 - Технические характеристики образцов

Номер образца	Толщина слоя, мм		Твердость поверхности	
	Общая	Карбонитридного зона	После насыщения, HV/HRC	До насыщения, HRC
1 этап				
1	0,3	14	822/65	61
2	0,29	12	825/65	61
3	0,4	25	852/65	61
4	0,4	26	858/66	61
2 этап				
5	0,44	33	865/66	61
6	0,5	38	896/67	62
7	0,55	44	998/68	61
8	0,6	51	1136/70	61

Охлаждение в аммиаке и в масле МЗМ – 16 (после аммиака), не оказывает влияния на величину твердости поверхности.

В результате анализа 1 этапа эксперимента, отмечена закономерность:

- увеличения твердости поверхности с образованием упрочненного слоя на поверхности;
- увеличения толщины слоя, твердости по шкале HV, при увеличении времени выдержки при насыщении.

Учитывая, что увеличение времени насыщения с 4 до 6 часов практически не позволяет существенно увеличить твердость поверхности, следовательно, дальнейшее увеличение времени насыщения будет в большей степени увеличивать длительность процесса. Поэтому принято решение, данный показатель

зафиксировать для дальнейших испытаний на значении 6 часов. Среду охлаждения оставить аммиак с последующим погружением в масло МЗМ – 16.

Вероятно низкая скорость роста толщины слоя и твердости поверхности, связаны с недостаточной активностью поверхности насыщаемой детали и недостаточным избыточным давлением газовой смеси в рабочем пространстве печи.

Наиболее перспективным направлением при экспериментальной обработке на 2 этапе, принято увеличивать температуру насыщения и расход технологических газов.

Из данных 2 этапа в таблице 4.1.1.1 и 4.1.1.2 видно, что первоначальное (образец номер 5) увеличение метана с 1,1 до 1,4 м³/час, аммиака с 1,5 до 1,6 м³/час, воздуха с 3,9 до 6 м³/час, позволяет незначительно увеличить твердость поверхности по шкале HV на 7 единиц. Общая толщина слоя при этом увеличилась на 0,04 мм, карбонитридного слоя на 7 мкм.

Дальнейшее увеличение температуры до 650 °С по результатам исследований образцов 6, 7, 8, указывает на тенденцию значительного увеличения твердости поверхности до 70 HRC, при одновременном росте толщины общего и карбонитридного слоя до 0,6 мм и 51 мкм соответственно.

Эта закономерность интенсификации диффузионных процессов, в определенной степени подтверждает, правильно выбранное направление изменения параметров экспериментальных режимов.

4.1.2 Исследование уровня и распределения остаточных напряжений в упрочненном слое цилиндрических образцов после азотирования в установке «Корунд»

Для исследования уровня и распределения остаточных напряжений в упрочненном слое были отобраны цилиндрические образцы, обработанные вместе с втулками цилиндрическими по режимам образца номер 3, 4, 8 из таблицы 4.1.1.1.

В таблице 4.1.2.1 показано распределение остаточных напряжений в поверхностных слоях образцов после азотирования на установке «Корунд».

Из представленных данных видно, что повышение температуры азотирования

Таблица 4.1.2.1- Характеристики цилиндрических образцов

Цилиндрический образец № 3									
Расстояние от поверхности, мкм	5	18	25	30	40	60	-	-	-
Остаточные напряжения, мПа	-450	-200	5	100	400	50	-	-	-
Цилиндрический образец № 4									
Расстояние от поверхности, мкм	5	20	30	35	40	70	-	-	-
Остаточные напряжения, мПа	-700	-500	-200	-20	100	50	-	-	-
Цилиндрический образец № 8									
Расстояние от поверхности, мкм	5	10	14	18	26	35	40	65	85
Остаточные напряжения, мПа	-1150	-790	-500	-200	-150	-20	50	200	50

до 650 °С приводит к увеличению напряжений сжатия у поверхности карбонитридного слоя. На расстоянии до 35 мкм от поверхности имеются сжимающие остаточные напряжения, максимальная величина которых 700 – 1150 мПа наблюдается на расстоянии 5 – 10 мкм от поверхности. Затем они уменьшаются и переходят в растягивающие.

Наличие сжимающих напряжений в поверхностных областях упрочненного слоя связано с их значительным объёмным расширением при образовании нитридов и карбонитридов.

Из таблицы 4.1.2.1 также видно, что величина и глубина залегания остаточных сжимающих напряжений в упрочненном слое после азотирования с охлаждением в аммиаке до 400 °С и последующим охлаждением в масле МЗМ – 16, значительно больше, чем в упрочненном слое, полученным азотированием с охлаждением в аммиаке до 400 °С и далее с печью.

Такая закономерность, вполне объяснима различием в скорости охлаждения деталей после азотирования. Ускоренное охлаждение, увеличивая температурный градиент между поверхностными и внутренними слоями детали, создает напряжение сжатия на её поверхности, кроме того при ускоренном охлаждении вероятно увеличивается напряженное состояние диффузионной зоны за счет большей пересыщенности азотом.

Таким образом, ускоренное охлаждение в масле МЗМ – 16 после азотирования, приводит к увеличению сжимающих напряжений на поверхности и расширению глубины их залегания.

4.1.3 Исследование износостойкости втулки цилиндрической после азотирования в установке «Корунд»

После завершения азотирования по экспериментальным режимам, из втулок цилиндрических с номерами образцов с 1 по 8 согласно таблице 4.1.1.1 было вырезано по одному одинаковому образцу. Один образец был вырезан из втулки с термической обработкой, выполненной по технологии, применяемой на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод», без азотирования. Его приняли за эталон.

В результате получили 9 образцов с различными видами термического упрочнения, и затем проведено их испытание и исследование. Образец устанавливался в станок для испытаний таким образом, чтобы азотированная поверхность была расположена параллельно абразивной ленте.

После каждого прогона по абразивной ленте, с подачей в зону контакта жидкости с абразивными частицами, образец взвешивался.

Результаты испытаний на гидроабразивное изнашивание сведены в таблицу 4.1.3.1.

В результате испытаний на изнашивание, установлено, что гидроабразивная износостойкость азотированных образцов 1 – 3 увеличилась в два раза по сравнению с эталоном. Также установлено, что гидроабразивная износостойкость азотированных образцов под номерами 4 – 6 увеличилась в четыре раза по сравнению с эталоном, а образцов 7 и 8 в 5 и 8 раз соответственно.

Таблица 4.1.3.1 - Технические характеристики

Номер образца	Номер прогона	Масса образца, гр.		
		m _{до}	m _{после}	Δm
1	2	3	4	5
Эталон	1	50,48	50,44	0,04
	2	50,44	50,40	0,04
	3	50,40	50,37	0,03
	4	50,37	50,33	0,04
	5	50,33	50,29	0,04
Всего				0,04
1	1	63,24	63,22	0,02
	2	63,22	63,20	0,02
	3	63,20	63,18	0,02
	4	63,18	63,15	0,03
	5	63,15	63,12	0,03
Всего				0,02
2	1	44,18	44,16	0,02
	2	44,16	44,14	0,02
	3	44,14	44,12	0,02
	4	44,12	44,10	0,02
	5	44,10	44,08	0,02
Всего				0,02
3	1	71,86	71,84	0,02
	2	71,84	71,82	0,02
	3	71,82	71,81	0,01
	4	71,81	71,80	0,01
	5	71,80	71,78	0,02
Всего				0,02

Продолжение таблицы 4.1.3.1- Технические характеристики

1	2	3	4	5
4	1	48,78	48,77	0,01
	2	48,77	48,75	0,02
	3	48,75	48,73	0,02
	4	48,73	48,72	0,01
	5	48,72	48,71	0,01
Всего				0,01
5	1	56,53	56,51	0,02
	2	56,51	56,49	0,02
	3	56,49	56,48	0,01
	4	56,48	56,47	0,01
	5	56,47	56,46	0,01
Всего				0,01
6	1	66,18	66,17	0,01
	2	66,17	66,16	0,01
	3	66,16	66,15	0,01
	4	66,15	66,13	0,01
	5	66,13	66,12	0,01
Всего				0,01
7	1	64,89	64,885	0,005
	2	64,885	64,88	0,005
	3	64,88	64,87	0,01
	4	64,87	64,86	0,01
	5	64,86	64,85	0,01
Всего				0,008

Продолжение таблицы 4.1.3.1- Технические характеристики

1	2	3	4	5
8	1	69,15	69,145	0,005
	2	69,145	69,14	0,005
	3	69,14	69,135	0,005
	4	69,135	69,13	0,005
	5	69,13	69,125	0,005
Всего				0,005

Данные результаты позволяют сделать вывод о том, что режимы азотирования образцов с 1 по 8 способствуют увеличению гидроабразивной износостойкости упрочненной поверхности втулки цилиндрической.

Таким образом, в 4 разделе определены основные направления и выполнены исследования влияния параметров азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора на свойства втулки цилиндрической.

В результате установлено:

- 1) с образованием азотированного слоя на поверхности втулки цилиндрической из материала ЧХ16, увеличивается твердость этой поверхности;
- 2) увеличение температуры и длительности процесса насыщения при азотировании, способствует росту толщины азотированного слоя и твердости поверхности на ЧХ16;
- 3) при охлаждении в аммиаке или масле МЗМ – 16 после завершения диффузионных процессов насыщения, твердость поверхности ЧХ 16 одинаковая;
- 4) с увеличением температуры насыщения и расхода технологических газов (аммиак, воздух, метан), увеличивается скорость роста толщины азотированного слоя и твердость поверхности на ЧХ16;
- 5) увеличение температуры насыщения в сочетании с охлаждением в масло МЗМ – 16, увеличивает сжимающие напряжения и глубину их залегания в

поверхностных слоях ЧХ16, максимальная величина которых 700 – 1150 мПа наблюдается на расстоянии 5 – 10 мкм от поверхности;

- б) гидроабразивная износостойкость азотированной поверхности втулки цилиндрической из ЧХ16, увеличивается с повышением величины твердости поверхности и уровня остаточных сжимающих напряжений в упрочненном слое.

Общие выводы

1. Анализ условий эксплуатации и характерных видов повреждаемости втулки цилиндрической показал, что:

1) втулка цилиндрическая в буровом насосе регулирует давление и обеспечивает перекачивание бурового раствора, работая в среде слабоагрессивной и высоко – абразивной жидкости;

2) в процессе перекачивания, твердые частицы бурового раствора (с твердостью до 39 HRC) под давлением до 35 МПа соприкасаются с внутренним диаметром втулки цилиндрической, вызывая образование сети мелких рисок и царапин на длине рабочего хода поршня;

3) износ происходит вследствие абразивного действия песка и других твердых пород, содержащихся в буровом растворе, в результате перекачивания данных частиц вместе с жидкостью по поверхности трения, шаржируя её;

4) массовым дефектом в процессе эксплуатации втулки цилиндрической из материала ЧХ16, являются продольные риски глубиной до 1,5 мм на поверхности трения.

2. Применяемая на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» традиционная технология объёмной закалки, обеспечивает твердость поверхности от 60 до 62 HRC, но этого явно недостаточно, в связи с появлением продольных рисок глубиной до 1,5 мм наработка втулки цилиндрической получается до 100 часов, при ожидаемых 800 – 1000 часов.

3. Для исследования возможности увеличения эксплуатационного ресурса втулки цилиндрической из ЧХ16, в работе использована принципиально новая технология и оборудование для азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора.

4. В процессе постановки экспериментов химико – термической обработки, применили схему обработки в два этапа, что позволило сократить расходы на образцы, расходные материалы в металлографических лаборатории и на оборудовании, за счет промежуточного анализа полученных результатов и корректировки экспериментальных режимов обработки образцов.

5. При постановке экспериментального азотирования втулки цилиндрической из ЧХ16 в установке «Корунд», после завершения охлаждения в среде аммиака до 400 °С, применили дополнительное охлаждение деталей в масле МЗМ – 16. Это является новой составляющей, примененной в комплексе с технологией авторов патента на изобретения № 2208659 «Способ газового азотирования изделий в кипящем слое и установка для его реализации» (приложение Г), где охлаждение выполняется по классической схеме в среде аммиака до 400 °С, далее с печью.

6. В результате реализации экспериментов с изменением параметров азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора на установке «Корунд» установлены следующие зависимости:

1) при увеличении температуры, времени, расхода технологических газов (аммиак, воздух, метан) в стадии насыщения, увеличивается скорость роста толщины азотированного слоя и твердость поверхности на ЧХ16 до 70 HRC, что на десять единиц больше, чем после применяемой на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» традиционной технологии объёмной закалки;

2) увеличение сжимающих напряжений, глубины их залегания в поверхностных слоях ЧХ16 (максимальная величина которых 700 – 1150 мПа наблюдается на расстоянии 5 – 10 мкм от поверхности), происходит с увеличением температуры насыщения при азотировании до 650 °С в сочетании с охлаждением в масле МЗМ – 16;

3) с повышением величины твердости поверхности и уровня остаточных сжимающих напряжений в азотированном слое, увеличивается гидроабразивная износостойкость азотированной поверхности втулки цилиндрической.

На основании всех вышеуказанных результатов исследований азотирования втулки цилиндрической в кипящем слое наноструктурированного катализатора, можно сделать вывод о том, что данный метод химико – термической обработки способствует повышению гидроабразивной износостойкости поверхности, что приведет к значительному повышению ресурса его работы.

Заключение

Данная работа выполнялась по заказу предприятия ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод». В ней на основании анализа условий эксплуатации втулок цилиндрических буровых насосов и материаловедческих проблем повышения износостойкости их поверхности была предложена новая технология азотирования, позволяющая повысить износостойкость втулок цилиндрических бурового насоса; также было подобрано оборудование для реализации процесса химико – термической обработки в кипящем слое наноструктурированного катализатора.

Были проведены эксперименты, в которых изучалось влияние основных параметров азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора на твердость поверхности и износостойкость, определено влияние параметров процесса и среды охлаждения на уровень и распределение остаточных напряжений в упрочненном слое. В результате анализа данных этого эксперимента была установлена зависимость увеличения износостойкости с увеличением твердости поверхности и глубины залегания сжимающих остаточных напряжений в упрочненном слое. Полученные экспериментальные результаты позволяет использовать их для управления технологическим процессом азотирования в кипящем слое наноструктурированного катализатора применительно к материалу ЧХ16. Следовательно, в производственных условиях возможно повысить качественные показатели процесса, а, именно, получать более износостойкие свойства упрочненного слоя на деталях из данного материала. С полученными результатами ознакомлена техническая служба предприятия ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод».

В дальнейшем выполненную работу следует продолжить и произвести исследования микроструктуры и фазового состава азотированного слоя, влияние углеродного, азотного потенциала в процессе азотирования на свойства втулки цилиндрической.

Список используемых источников

1. Официальный сайт ООО «ОЗНА-ОМЗ». [Электронный ресурс]. URL: http://ozna.ru/catalog/detail.php?SECTION_ID=16&ELEMENT_ID=1586#info (дата обращения 30.11.2017г.).
2. Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок. / Я.С. Мкртычан – М.: Недра, 1984. – 207 с.
3. Набиев Н.А. Разработка и исследование технических и технологических факторов, обеспечивающих повышение эксплуатационных показателей скважинных штанговых насосов: диссертации на соискание ученой степени доктора философии по технике / Н.А. Набиев; Азербайджанская государственная нефтяная академия – г. Баку, 2010 – 189 с.
4. Грей Ф. Добыча нефти / Ф. Грей; пер. с англ. – М.: ЗАО “Олимп-Бизнес”, 2001. – 416 с.
5. Нефтегазопромысловое оборудование: учебник для ВУЗов / под общ. ред. В.Н. Ивановского. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2006. – 720 с.
6. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие для ВУЗов / И.Т. Мищенко. – М.: изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с.
7. Справочник по добыче нефти / под ред. К.Р. Уразакова. – М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2000. – 374 с.
8. Сидоренко О.Я. Буровой поршневой насос одностороннего действия. Патент РФ № 2315893, МПК F04B 15/02; опубл. 27.01.2008.
9. Нугуманов К.К., Елефтериادي Д.К. Буровой поршневой насос одностороннего действия. Инновационный патент KZ №25687 МПК F04B 15/02, E21B17/00; опубл. 16.04. 2012.
10. Юшков И.А. Буровое оборудование. Учебное пособие / И.А. Юшков – г. Донецк: ДонНТУ, 2009. – 83 с.
11. Абубакиров В.Ф. Буровое оборудование. Справочник. В 2 т. / В.Ф. Абубакиров, Ю.Г. Буримов, А.Н. Гноевых и др. – М.: Недра, 2003. – 2 т., 494 с.

12. Куницын П.В. Механизация работ при строительстве нефтяных и газовых скважин: справочник рабочего. / П.В. Куницын – М.: Недра, 1989. – 272 с.
13. Кирсанов А.Н. Буровые машины и механизмы / А.Н. Кирсанов, П.В. Зиненко, В.Г. Кардыш – М.: Недра, 1981. – 448 с.
14. Рахмилевич З.З. Насосы в химической промышленности: справочное издание. / З.З. Рахмилевич – М.: Химия, 1990. – 240 с.
15. ООО «РемБурСервис». Буровой насос УНБТ-950, УНБТ-1180. [Электронный ресурс]. URL: <http://рембурсервис.рф/catalog/burovye-nasosy> (дата обращения 30.11.2017г.).
16. Насос буровой трехпоршневой УНБТ. Каталог деталей и сборочных единиц. ЗАО «УРБО», – 162 с.
17. Хафизов Н.М. Проектирование бурового насоса. [Электронный ресурс]. URL: http://stud.wiki/manufacture/2c0a65635b2bc78a4c43a88421206c37_0.html (дата обращения 30.11.2017г.).
18. ООО «Проммаркет». ЗИП к буровым насосам. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pmmarket.ru/production/osn/15.html> (дата обращения 30.11.2017г.).
19. Нугуманов К.К. Новые технические решения в конструкциях буровых поршней / К.К. Нугуманов, Н. Исагулов // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева, № 2 (108) – г. Алма-Ата, 2015 г. – с. 147-152.
20. Калинин А.Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. Справочник. / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодский и др. – М.: Недра, 1997. – 648 с.
21. ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 13 с.
22. Акопов Е.Ю. Обоснование и выбор методов повышения ресурса погружных центробежных насосов. [Электронный ресурс]. URL: http://old.misis.ru/Portals/0/Avtoreferat/2016/Akopov_disser.PDF (дата обращения 30.11.2017г.).

23. Бабаев С.Г. Надежность нефтепромыслового оборудования. – М.: Недра 1987. – 264с.
24. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
25. Костецкий Б.И. и др. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев:Техника, 1976.
26. Выдержка из книги Саакинян Л.С. Защита нефтегазопромыслового оборудования от коррозии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngpedia.ru/pg3109355c7wqHVz0008614411/> (дата обращения 30.11.2017г.).
27. Рыбаков К.А. Разработка и исследование технологии и оборудования плазменного упрочнения втулок буровых насосов. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/6075.pdf/download/6075.pdf> (дата обращения 30.11.2017г.).
28. Протокол микроструктурного анализа № 35, ООО «НПФ ПАКЕР», 2017г. – 11с.
29. Гуревич Ю.Г. Технология упрочнения деталей из серого чугуна. / Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, № 4(3) – г. Самара, 2011. – с. 1018-1020.
30. H.-J. Kunze, Nitrogen and carbon in steel// Akademie Verlag Berlin, 1990.
31. U. Huchel, J. Grummenauer, S. Stramke, nitrocarburizing and oxidizing in plasma.// ELTRO GmbH, Besweiler, Germany.
32. S. Stramke, Industrial applications of pulse plasma nitriding and post-treatment of the nitriding layer coating.// 1996, №6, p. 215 – 217.
33. U. Huchel, F. Koch, U. Koch, Pulse plasma nitriding in tool and special mechanical engineering.// ELTRO GmbH, Besweiler, Germany.
34. Гончаров В.С., Писканов А.Ю., Гончаров В.С., Дмитриев Д.В. Технология получения износостойкого комплексного покрытия на длинномерный

- режущий инструмент.//Сварка – 21 ВЕК: Сб. трудов всероссийской научно-технической конференции. – Тольятти: ТГУ, 2002. – с. 284 – 291.
35. U. Huchel, S. Stramke, Dewaxing and pulsed plasma nitriding in one step – Production Experiences.//Munich Trade Fair Centre, Germany, Oct. 1997. – p. 15-17.
36. U. Huchel, S. Stramke, Pulsed plasma nitriding in engine.// ELTRO GmbH, Besweiler, Germany.
37. J. Betzold, G. Laudin, U. Huchel, S. Stramke, Pulse plasma nitriding of camshafts in the production.// Harterei Techn. Messages, 1994, №3, p. 186 – 190.
38. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов / Г.Ф. Ивановский, В.И. Петров – М.: Радио и связь, 1986 – 233 с.
39. Гончаров В.С., Писканов А.Ю., Гончаров В.С., Федоров А.В. Эффективность технологии импульсного плазменного азотирования.//Сварка – 21 ВЕК: Сб. трудов всероссийской научно-технической конференции. – Тольятти: ТГУ, 2002. – с. 265 – 270.
40. Гончаров В.С., Писканов А.Ю., Гончаров В.С., Балахнина А.А., Федоров А.В. Перспективы внедрения импульсного плазменного азотирования деталей двигателя внутреннего сгорания.//Машиностроитель. – Москва, 2003, №1, с. 24-27.
41. Баскаков А. П. Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое / А. П. Баскаков. - Москва: Металлургия, 1974.
42. Лейбуш А.Г., Людковская В.Г., Грузенцова А.Н., Лихачева. А.С., Яныкина Е.В., Гольдман А.М. Влияние термической обработки никелевого катализатора на процесс конверсии метана. Хим. промышленность, 1961, №2, с.90-96.
43. ООО «ПКТИмаш-термо». Научно-техническое описание аппаратного метода обработки металлов на базе применения кипящего слоя наноструктурированного катализатора – г. Тула, 2014. – 21 с.

44. ТУ 6-68-119-91. Катализатор алюмоникельмагниевого мелкосферического. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 1991. – 31 с.
45. Бобок А.Н., Шавелкин А.Д., Павлова А.В., Гвоздев Е.А., Тошин Р.Н., Сайгушев О.Г. Способ газового азотирования изделий в кипящем слое и установка для его реализации. Патент RU №2208659 МПК C1 7 C23 C8/24, 8/30; опубл. 20.07. 2003.
46. Писканов А.Ю. Влияние параметров химико – термической обработки на свойства втулки цилиндрической бурового насоса. //Студенческая научно-практическая конференция кафедры и ТГУ. – Тольятти: ТГУ, 2018. (в печати).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «ОЗНА-ОМЗ»
 Ю. В. Таушев
« _____ » 2017 г.

Техническое задание.

для проведения исследований в области металлургии
по изготовлению биметаллической втулки методом двойной заливки
из сплавов хромистого чугуна ЧХ50 и ЧХ28Д2.

1. Литейное производство.
 - 1.1. Методика вы плавления в индукционной печи, сплавов ЧХ 50 и ЧХ28Д2.
 - 1.2. Методика заливки этих сплавов в машину центробежного литья, послойно, за один прием.
 - 1.3. Первый слой ЧХ 50 (температура расплава при заливки, обороты вложницы центробежной машины для снижения образования раковин в слое, при какой температуре первого слоя нужно заливать второй слой ЧХ28Д2).
 - 1.4. Второй слой ЧХ28Д2 (температура расплава при заливки, обороты центробежной машины для снижения раковин в слое, когда включать охлаждение вложницы и сколько по времени проводить охлаждение, толщина слоя должна быть не менее 6 мм и не более 8 мм).
 - 1.5. Как проводить систему отжига полученных заготовок.
2. Механическое производство.
 - 2.1. Рекомендации по инструменту для механической обработки литевых заготовок (отрезка торцов, обработка внутреннего диаметра, обработка наружного диаметра литевых заготовок).
 - 2.2. Рекомендации по оборудованию для обработки литевых заготовок (отрезка торцов, обработка внутреннего диаметра, обработка наружного диаметра литевых заготовок).
3. Термическое производство (термообработка).
 - 3.1. Методы проведения термообработки готовых изделий (объемная закалка, токами высокой частоты ТВЧ).
 - 3.2. Режимы отжига для получения твердости не более 36 HRC.
 - 3.3. Режимы закалки с помощью ТВЧ внутреннего слоя для получения твердости 68 – 74 HRC.
 - 3.4. Рекомендации по оборудованию ТВЧ для закалки внутренних диаметров от 110 до 200 мм. Конструкция индуктора и способа охлаждения изделия.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

1. Технический паспорт на литевную печь.
2. Технический паспорт на центробежную машину.
3. Чертежи литевых заготовок.
4. Чертежи готовых изделий.

Начальник ПТО



А. В. Хусаянов

Рисунок А.1 – Фотография технического задания

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод», г. Череповец ОАО «Свердловский инструментальный завод»,



ОАО «Каток ЧТЗ», г. Челябинск.

ЗАО «ЭЛЕКТОН» г. Радужный.



ОАО «Мичуринский завод «Прогресс» г. Мичуринск

Рисунок Б.1 – Фотографии действующих участков ТО и ХТО НК

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Информация о применении технологии и оборудования
термической и химико-термической обработки в кипящем слое наноструктурированного
катализатора (ТО и ХТО НК)

Предприятие: ОАО «Татнефть» Бугульминский механический завод, Татарстан
Производимая продукция: привод цепной, теплообменники, емкости, блок гребенок
Установленное оборудование ТО и ХТО НК: «Корулл-600М»-2 шт.
Дата внедрения технологии и ввода оборудования в эксплуатацию: II кв. 2007 г., II кв. 2008 г.

I. Данные по эксплуатации:

- ежемесячный объем обрабатываемых деталей, шт.:

Январь	16350
Февраль	17520
Март	29434
Апрель	24969
Май	21933
Июнь	27641
Июль	25092
Август	9021

- номенклатура обрабатываемых деталей по видам обработки (объемная термообработка «О», цементация «Ц»)

Нитроцементацию «НЦ» не проводим.

Вид ТО	Наименование деталей (групп) (например: валы; втулки, кольца и т.п.; режущий инструмент; крепеж и т.п.) (по возможности вписать)	Удельный вес по станкосмкости в общих объемах, %
«О»	Крепеж, валы, скалка, кольцо, звездочка, втулка, ось, собачка, стакан	75
«Ц»	Плашка, плашка каната, ролик, сухарь, головка,	80

II. Данные по эффективности: (на примере детали «Плашка» БО1011)

Годовой объем 56 тыс.шт.

Показатели	Да	Нет (+)
Снижение затрат на энергоносители	50%	
Снижение брака по ТО	15 %	
Снижение трудозатрат (за счет ликвидации вспомогательных операций), экономия в год (при обработке 1000 штук)	27,26 тыс.руб	
Ликвидация финишных операций (за счет уменьшения деформаций и повышения чистоты поверхности)	0,16 п/час	
Уменьшение парка термического оборудования	6 ед.	
Обеспечение экологической безопасности	да	
Удельный годовой экономический эффект	6110,59тыс.руб	

Режим работы установки	Затраты на 1 час термообработки выпускаемой продукции	Затраты на потребление газа	Затраты на потребление электроэнергии	Суммарные затраты по энергоносителям за месяц	Кол-во часов работы установки на т.о. продукции в месяц.
Три смены по 8 часов (7 дней)	83,71 руб.	3277,14 руб.	10785,6 руб.	60268,89 руб.	720 часа

Рисунок В.1 – Фотография технологии применения оборудования

ПРИЛОЖЕНИЕ В

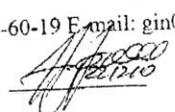
Три смены по 8 часов (5 дней)	85,89 руб.	2301,8 руб.	7575,6 руб.	41485,1 руб.	483 часа.
Две смены по 8 часов (5 дней)	103,8 руб.	1511,8 руб.	4975,5 руб.	27246,66 руб.	262,5 часа.
Одна смена по 11 часов (5 дней)	119,58 руб.	937,35 руб.	3210 руб.	17418,87 руб.	147 часов.

III. Предложения по совершенствованию оборудования
Предусмотреть корзину, устанавливаемую на дне тигля для подъема деталей выпавших во время нагрева из оснастки (исключить выгрузку катализатора для подъема деталей со дна тигля)

Ответственный исполнитель: Инженер-технолог по термообработке Гишиатова Р.И.
(должность, ФИО)

Тел. (85594) 7-61-20 Факс (85594) 7-60-19 E-mail: gin0420@mail.ru

Главный технолог



И.И. Нурияхметов

Рисунок В.2 – Фотография технологии применения оборудования

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ
Технический директор
ООО ОЗДМ «Деско»
Шкуратов А.Г.
« 14 » 06 2009 год

Результаты внедрения технологии в кипящем слое на установке «КОРУНД-600»

Режимы образцов-свидетелей и деталей-представителей, подвергнутых цементации и безокислительному нагреву под закалку в кипящем слое специального катализатора на установке «КОРУНД-600», а также полученные результаты обработки представлены в приложении I.

Визуальный осмотр изделий, обработанных в кипящем слое, после ТО и ХТО показал, что поверхность деталей имеет равномерный цвет.

Контроль обработанных образцов-свидетелей по глубине слоя проводили по излому при помощи микроскопа измерительного МПБ-3М с увеличением 50х и исследовали в лаборатории.

Цементацию образцов-свидетелей и деталей из стали 20Х проводили при $t=940\pm 5^{\circ}\text{C}$ и соотношениях воздух/газ – 3/1; 3,5/1 ; 4/1.

После цементации образцы охлаждали в воде, а детали на воздухе (для подготовки структуры к окончательной термообработке, измельчения зерна, распада остаточного аустенита).

Нагрев под закалку деталей ролик колодки тормозов чертеж 6520-3501109:
- из стали 20Х проводили при $t=810\pm 5^{\circ}\text{C}$ и соотношениях воздух/газ – 3,5/1 охлаждение в масло.
с последующим отпуском при $t=200\pm 5^{\circ}\text{C}$ в камерной печи для получения твердости, соответствующей требованиям чертежа.

При проведении технологических процессов следует учитывать следующие рекомендации:

1. Цементацию деталей следует проводить при $t=930\pm 950^{\circ}\text{C}$;
2. Общий расход газовой смеси выбирать, ориентируясь по кипению. Кипение должно быть по всему зеркалу кипящего слоя. Качество кипения следует проверять при помощи прутка. Он опускается в кипящий слой в разных частях реторты. Если пруток в каком-то месте реторты не опускается на дно, то следует увеличить общий расход смеси и проверить качество кипения.
3. Перед проведением процессов цементации необходимо насытить катализатор углеродом. Он должен быть темно-серого или черного цвета. По ротаметру 30-40 единиц воздуха и 40-50 единиц газа. Для получения больших слоев - от 1 до 2 мм необходимо применять процессы со ступенями разных соотношений газов. Первый час с большим процентом углерода, затем ступень 1-2 ч с понижением на одну или две ступени таблицы расходов (для диффузии углерода глубже и снижения углеродного потенциала поверхности), затем вновь добавление углерода.
4. После окончания работы на установке «КОРУНД-600» следует установить по ротаметрам в/г 60/5 делений, отключить нагрев печи и сероочистки. Охладить печь до 850°C и прекратить подачу воздуха и газа.

От ООО «ПТИКмаш-термо»

Инженер-электрик

В.А.Алешин

От ООО ОЗДМ «Деско»

Директор по производству

Григорев Л.Д.

Зам.главного технолога

Ледовских В.Н.

Рисунок В.3 – Фотография документа результатов внедрения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Рисунок Г.1 – Фотография патента на изобретение