

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИОННЫМ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (С ИЗМЕНЕНИЕМ N 1)

Общие технические требования



Предисловие

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН ООО «Ионные технологии» и Комитетом по перспективным материалам АНО «Институт нефтегазовых технологических инициатив»

2 ВНЕСЕН АНО «Институт нефтегазовых технологических инициатив»

3 ПРИНЯТ АНО «Институт нефтегазовых технологических инициатив»

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения АНО «Институт нефтегазовых технологических инициатив»

Содержание

Введение.....	IV
1 Нормативные ссылки	5
3 Термины, определения, обозначения и сокращения.....	7
4 Общие положения	8
5 Выбор материала для ИХТО	11
6 Предварительная ТО деталей.....	12
7 Подготовка деталей для ИХТО	13
8 Требования к сопроводительной документации для деталей, поступающих на ИХТО	15
9 Выбор режима ИХТО. Назначение типа покрытия	16
10 Расстановка деталей в камере	21
11 Режим ИХТО	23
12 Местная защита поверхности от азотирования.....	24
13 Требования к образцам-свидетелям	27
14 Требования к помещению, оборудованию	28
15 Общие сведения о контроле после ИХТО	30
16 Разрушающий контроль	32
17 Неразрушающий контроль	34
Приложение А (справочное) Характеристики упрочнённого слоя для разных марок материалов	36
Приложение Б (справочное) Применяемые типы азотированных покрытий на различных сталях в зависимости от вида износа и его проявления на трибосопрягаемых поверхностях деталей и инструмента.....	42
Приложение В (справочное) Рекомендуемые параметры металлографического исследования	44
Приложение Г (справочное) Упрочнение резьбовых деталей методами ИХТО	46

Введение

Настоящий стандарт устанавливает состав общих положений, требований к технологической подготовке и выполнению упрочнения металлических изделий методами поверхностной ионной химико-термической обработки (азотирование, карбонитрирование, оксидирование и комбинированные методы)

1 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Виккерсу

ГОСТ 3022-80 Водород технический. Технические условия

ГОСТ 5457-75 Ацетилен растворенный и газообразный технический. Технические условия

ГОСТ 6211-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трубная коническая

ГОСТ 6221-90 Аммиак жидкий технический. Технические условия

ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия

ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры

ГОСТ 9293-74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия

ГОСТ 9450-76 Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников

ГОСТ 10054-82 Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая

ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия

ГОСТ 11708-82 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба. Термины и определения

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 17433-80 Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязнённости

ГОСТ 20448-2018 Газы углеводородные сжиженные топливные для коммунально-бытового потребления

ГОСТ 24705-2004 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры

ГОСТ 29298-2005 Ткани хлопчатобумажные и смешанные бытовые. Общие технические условия

ГОСТ 32548-2013 Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия

ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 Государственная система обеспечения единства измерений. Металлы и сплавы. Измерение твёрдости по Виккерсу

ГОСТ Р 52087-2018 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия

ГОСТ Р 58144-2018 Вода дистиллированная. Технические условия

ГОСТ Р 58431-2019 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов

получения покрытий

ГОСТ Р 58882-2020 Заземляющие устройства. Системы уравнивания потенциалов. Заземлители. Заземляющие проводники. Технические требования

ТУ 51-841-87 Метан газообразный

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действия ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю, который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Сведения о действии сводов правил можно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **Диффузионная зона насыщения:** это зона, в которой в результате упрочнения произошли структурные и физико-механические изменения;

3.1.2 **Дорожка микротвёрдости:** последовательные отпечатки микротвёрдости от края поверхности образца к сердцевине;

3.1.3 **Нитридная зона:** тонкий поверхностный слой, состоящий из нитридов железа;

3.1.4 **Поверхностная микротвёрдость:** микротвёрдость, измеряемая с поверхности детали (образца) при нагрузке $\leq 0,2$ кгс;

3.1.5 **Поверхностная твёрдость:** твёрдость, измеряемая с поверхности детали (образца) при нагрузке $\geq 0,2$ кгс;

3.1.6 **Садка:** детали, установленные в вакуумную камеру для проведения одного режима ИХТО;

3.1.7 **Сердцевина:** материал основы детали без упрочнения;

3.1.8 **Сечение:** толщина или диаметр детали, принимаемый для расчёта глубины покрытия.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

ИХТО – ионная химико-термическая обработка;

КД – конструкторская документация;

ТО – термическая обработка;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

ЭМП – электромагнитное поле;

HV – метод измерения твёрдости металлов и сплавов по Виккерсу;

HV_{сердц} – твёрдость сердцевины деталей;

h_{н.з.} – толщина нитридной зоны, интервал минимального-максимального значения, мкм;

h_с – глубина азотированного слоя по вытравленной измененной микроструктуре, мм;

h_{тв} – глубина азотированного слоя по дорожке микротвёрдости, мм;

h_{эфф} – эффективная глубина упрочнения, $h_{тв} + 50HV^*$, мм.

h_н – глубина азотированного слоя нормативная – до заданной твёрдости внутри слоя, мм;

* - нагрузка используется та же, что и при измерении $h_{тв}$

4 Общие положения

4.1 ИХТО (азотирование, карбонитрирование, оксидирование, комбинированные методы) – это процессы поверхностного упрочнения металлических деталей с целью улучшения и повышения: твёрдости (напряжений сжатия в поверхностном слое определённой глубины); работы образования и развития трещины; стойкости к усталостным, циклическим и знакопеременным нагрузкам; эрозионной и коррозионной стойкости; комплекса триботехнических свойств (износостойкости, снижения коэффициента трения, задиростойкости и др), теплостойкости и разгаростойкости. Метод основан на диффузии азота (углерода) в поверхностный слой металла, под воздействием ионизированной плазмы сильноточного тлеющего разряда в среднем вакууме.

4.2 Физической основой процесса ИХТО является взаимодействие ионов газа с поверхностью деталей. Процесс происходит в диапазоне температур от 300 до 900°C и диапазоне давлений от 30 до 1000 Па внутри вакуумной камеры под воздействием управляемого ЭМП. Корпус вакуумной камеры – анод, изолирован от катода – металлических деталей с оснасткой. Физико-химический процесс идёт непрерывно и включает этапы очистки, нагрева, восстановления, образования поверхностной зоны с повышенным содержанием нитридов и карбонитридов, диффузии ионов вглубь металла, образование химических соединений, насыщение.

4.3 Упрочнённый слой состоит из двух основных зон: нитридная зона и диффузионная зона. Нитридная зона характеризуется перенасыщенной структурой химических соединений – нитридов (карбонитридов) железа и легирующих элементов, которая состоит из ε и γ' фаз. Коррозионная стойкость конструкционных сталей обеспечивается нитридной (карбонитридной) зоной. Карбонитриды всегда присутствуют в поверхностном слое, если металлический сплав содержит углерод. С целью увеличения твёрдости и толщины карбонитридной зоны, добавляют углеродсодержащий газ. Вакуумное оксидирование дополнительно повышает коррозионную стойкость сталей, позволяя получить на поверхности пленку Fe_3O_4 до 3 мкм.

4.4 Диффузионная зона характеризуется структурой, отличной от структуры основного металла. В самой стали азот и углерод рассеиваются по классическим принципам, образуя упрочненный слой путем диффузии и образования твёрдых нитридов (карбонитридов). Диффузия азота (углерода) в первую очередь происходит через межзёрненную границу, диффузия сквозь кристаллиты затруднена. Мелкозернистая структура материала ускоряет диффузию и уменьшает продолжительность режима ИХТО. Концентрация азота и твёрдость в диффузионном слое уменьшаются от поверхности детали к сердцевине. Глубина

диффузионной зоны и её состав зависят от материала деталей, состава газа, температуры процесса ИХТО, времени изотермической выдержки и может достигать 1 мм.

4.5 Общая глубина упрочненного слоя измеряется от края шлифа до основной структуры металла (сердцевины). При отсутствии нитридной зоны упрочненный слой измеряют от края шлифа (поверхности детали) до основной структуры металла.

4.6 Главными параметрами в процессе ИХТО, которые влияют на качество упрочнённого слоя, являются: материал детали, температура изотермической выдержки, время изотермической выдержки, состав газовой смеси, давление в вакуумной камере, частота и продолжительность импульсов плазмы. Также на качество диффузионного слоя влияет подготовка поверхности деталей – наличие загрязнений, шероховатость поверхности, герметичность вакуумной камеры.

4.7 Упрочнению методами ИХТО подвергаются углеродистые, легированные, нержавеющие, инструментальные стали, чугуны, сплавы на основе железа и других металлов, композиционные и порошковые материалы. Перечень основных материалов указан в приложении А. Упрочнение резьбовых соединений согласно приложению Г.

4.8 Азотирование или карбонитрирование целесообразно применять для деталей, работающих на механическое, абразивное, кавитационное, эрозионное, усталостное изнашивание поверхности, а также комплексные воздействия и нагрузки.

4.9 Ионному азотированию рекомендуется подвергать детали, имеющие шероховатость рабочих поверхностей не более $R_a 1,25$ мкм по ГОСТ 2789.

4.10 Вакуумный отпуск применяется как стабилизирующий процесс для снятия внутренних напряжений: после механической обработки, штамповки, термообработки, а также очистить металл от поверхностных загрязнений и уменьшить содержание флокенов.

4.11 Типовой технологический процесс ИХТО включает в себя:

- очистку и обезжиривание деталей;
- установку деталей в вакуумную камеру;
- вакуумирование и запуск процесса;
- отпуск (при необходимости)
- ионное азотирование / карбонитрирование;
- оксидирование (при необходимости);
- охлаждение деталей;
- девакуумирование камеры;
- выгрузку деталей;
- оперативный контроль качества азотированного слоя;

- обработку поверхности специальными составами.

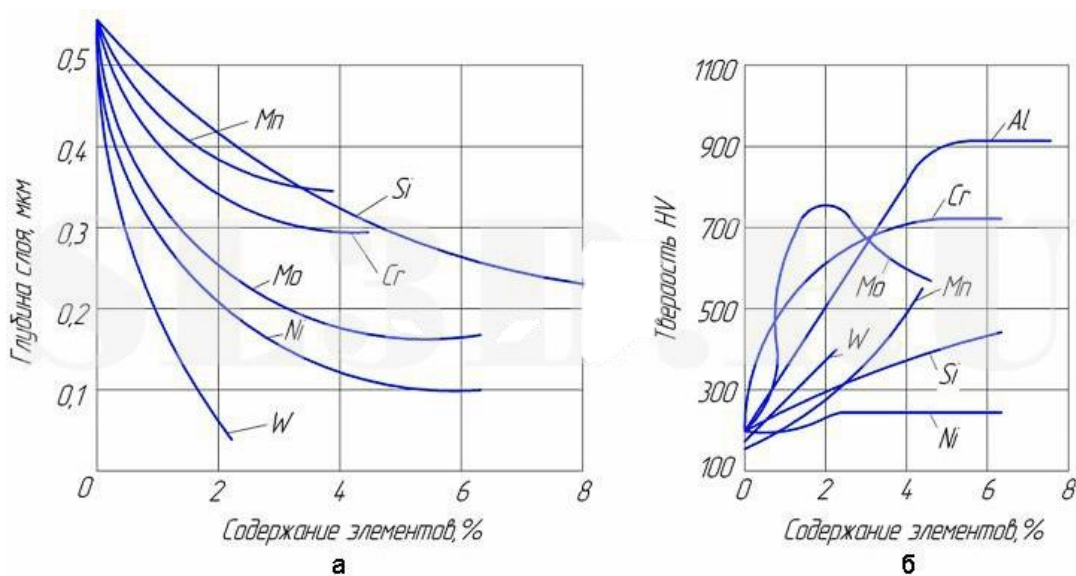
5 Выбор материала для ИХТО

5.1 Критерием оценки применимости материала является поверхностная твёрдость после азотирования (карбонитрирования), её распределение по глубине упрочнённого слоя и твёрдость сердцевины. Эти факторы изменяются в зависимости от химического состава материала, режимов термообработки, влияющих на структуру и свойства, параметров режима ИХТО. Необходимые данные для предварительного выбора материала приведены в приложении А.

5.2 Если на деталь одновременно воздействуют различные виды нагрузок, при выборе материала необходимо использовать данные приложений А и Б. В них указаны рекомендованные материалы, способные сопротивляться данным видам износа.

5.3 При выборе марки стали для упрочнения следует учесть склонность к отпускной хрупкости в интервале температур 450 – 500 °С, которая может вызываться длительностью выдержки в процессе упрочнения или при остывании в этом диапазоне температур.

5.4 Влияние химического состава стали на глубину и твёрдость упрочнённого слоя. Азот и углерод взаимодействуют не только с железом, но и с легирующими элементами материала. Практически все элементы образуют нитриды, карбиды или карбонитриды, поэтому в различной степени повышают поверхностную твёрдость и уменьшают скорость диффузии – снижают глубину упрочнённого слоя (рисунок 1). Наибольшее влияние на твёрдость оказывают следующие металлы: Cr, Al, Ti, W, Mo, V, Mn, Zr, Nb. Никель и кобальт не образуют стабильных нитридов, но препятствуют диффузии ионов азота и углерода.



Азотирование проводилось при 550°С в течение 24 ч

Рисунок 1 – График зависимости влияния легирующих элементов на общую глубину (а) азотированного слоя и его твёрдость (б)

6 Предварительная ТО деталей

6.1 Перед упрочнением методами ИХТО детали подвергаются термической обработке.

6.2 Для деталей, испытывающих изгибающие и динамические нагрузки в процессе эксплуатации, проводится улучшение.

6.3 Для деталей, работающих только на трение, проводится нормализация.

6.4 Для высокоточных деталей после черновой обработки (перед шлифованием и/или чистовой обработкой) производится дополнительный(многократный) стабилизирующий отпуск деталей по режимам предприятия-изготовителя для снятия внутренних напряжений и исключения деформаций после ИХТО.

6.5 Последняя операция ТО должна быть выше температуры азотирования на 20 – 50 °С и зависит от точности системы измерения температуры термического оборудования.

6.6 Повышение прочности материала после термообработки можно достичь за счет снижения температуры отпуска. В таком случае необходимо увеличить длительность изотермической выдержки во время процесса азотирования (карбонитрирования), для получения требуемых характеристик упрочненного слоя.

7 Подготовка деталей для ИХТО

7.1 Детали на ИХТО должны поступать в окончательно обработанные размеры, поскольку азотирование является финишной операцией обработки.

7.2 Перед упрочнением методами ИХТО необходимо провести полную разборку деталей на отдельные составляющие и провести очистку всех поверхностей и оснастки от загрязнений. Все поверхности должны иметь металлический блеск.

7.3 Обезжиривание поверхностей деталей производится органическими растворителями согласно ГОСТ Р 58431.

7.4 Допускается применение методов химического и электрохимического обезжиривания по ГОСТ Р 58431 или других методов, обеспечивающих необходимое качество обезжиривания.

7.5 После химического или электрохимического обезжиривания детали подвергаются финишной промывке в дистиллированной воде по ГОСТ Р 58144.

7.6 После обезжиривания работы с деталями производить только в чистых рукавицах или перчатках из маловорсного материала (ткани) по ГОСТ 29298.

7.7 Плохая очистка деталей перед ИХТО вызывает увеличение времени нагрева деталей до рабочей температуры и ухудшает качество упрочнённого слоя.

7.8 Допускается хранение обезжиренных деталей в вакуумной камере. Срок хранения обезжиренных деталей при остаточном давлении в камере не более 10 ГПа не ограничивается.

7.9 На внутренних и наружных поверхностях, включая различные отверстия, не допускается наличие:

- заусенец;
- стружки;
- смазки;
- краски;
- любых покрытий;
- следов окалины;
- следов от упаковки;
- любой другой технологической грязи и мусора.

7.10 Рифление или шероховатость, обеспеченные дробеструйной или пескоструйной обработкой, стеклянными или керамическими материалами, должны быть без вкраплений микрочастиц, после перечисленных процессов. Операции галтовки или предварительного наклёпа поверхности могут затруднять диффузию азота и углерода, в особенности на

нержавеющих аустенитных сталях. Последней технологической операцией механической обработки для таких материалов должна быть шлифовка.

7.11 Тара для транспортировки деталей и ложементы должны быть выполнены из листовых пород деревьев или фанер. При использовании хвойных пород деревьев необходимо обеспечить защиту полиэтиленовой плёнкой или парафинированной бумагой.

7.12 Использование бумаги или картона с битумной пропиткой не допускается.

8 Требования к сопроводительной документации для деталей, поступающих на ИХТО

8.1 Каждая партия деталей, поставляемая на ИХТО, должна сопровождаться заявкой или технологической картой, в которой должно быть указано:

- материал, из которого изготовлена деталь;
- виды и режимы термообработки, которым подвергалась деталь;
- количество деталей;
- номер плавки и номер партии материала, из которого изготовлена деталь.

8.2 Детали должны сопровождаться сертификатами на материалы, из которых они изготовлены.

9 Выбор режима ИХТО. Назначение типа покрытия

9.1 Основным процессом ИХТО является азотирование и применяется для всех материалов. Карбонитрирование – применяется для низкоуглеродистых сталей всех классов с целью повысить твёрдость и коррозионную стойкость. При назначении процесса ИХТО для упрочнения деталей необходимо учитывать следующие особенности процесса:

9.2 В местах контакта деталей с катодной плитой, оснасткой или друг с другом упрочнённый слой отсутствует;

9.3 При наличии на деталях отверстий диаметром менее 8 мм, пазов и проточек шириной менее 5 мм и глубиной в два раза большей ширины, а также других подобных элементов, необходимо проводить опытные исследовательские работы на деталях-имитаторах для подбора характеристик упрочнённого слоя в указанных местах.

9.4 Требования к покрытиям, защите от упрочнения резьбы, острых кромок, галтелей, пазов и других концентраторов напряжений должны быть указаны в конструкторской документации. Обязательные требования - глубина, твёрдость, хрупкость. Для малых слоёв и/или деталей с высокими триботехническими нагрузками указывать микротвёрдость поверхности. Для ответственных деталей с высокой удельной контактной нагрузкой, указывать нормативную глубину слоя h_n и твёрдость на этой глубине, таким образом устанавливать интенсивность насыщения (концентрацию азота + нитридов и карбонитридов) и подтверждать прочность (несущую способность) диффузионного слоя.

9.5 При назначении разных глубин азотированного слоя на одну и ту же деталь, сначала производят упрочнение на меньшую глубину, после первого режима указанные поверхности закрывают оснасткой и/или обмазкой, затем проводится процесс для получения слоёв большей глубины.

9.6 Детали из одной марки материала, но разных плавок могут содержать разное количество химических элементов в пределах допуска стандарта, что влияет на свойства азотированного слоя. С целью обеспечения точного соответствия твёрдости и глубины слоя в пределах проектных характеристик (диапазон $\pm 10\%$), необходимо проводить предварительный режим на образцах из разных плавок совместно.

9.7 Диаграмма рекомендуемых режимов ионного азотирования конструкционных сталей, для проектирования рациональных режимов обработки с учетом требований конструкторской документации и условий эксплуатации конкретных деталей представлена на рисунке 2 и в таблице 1.

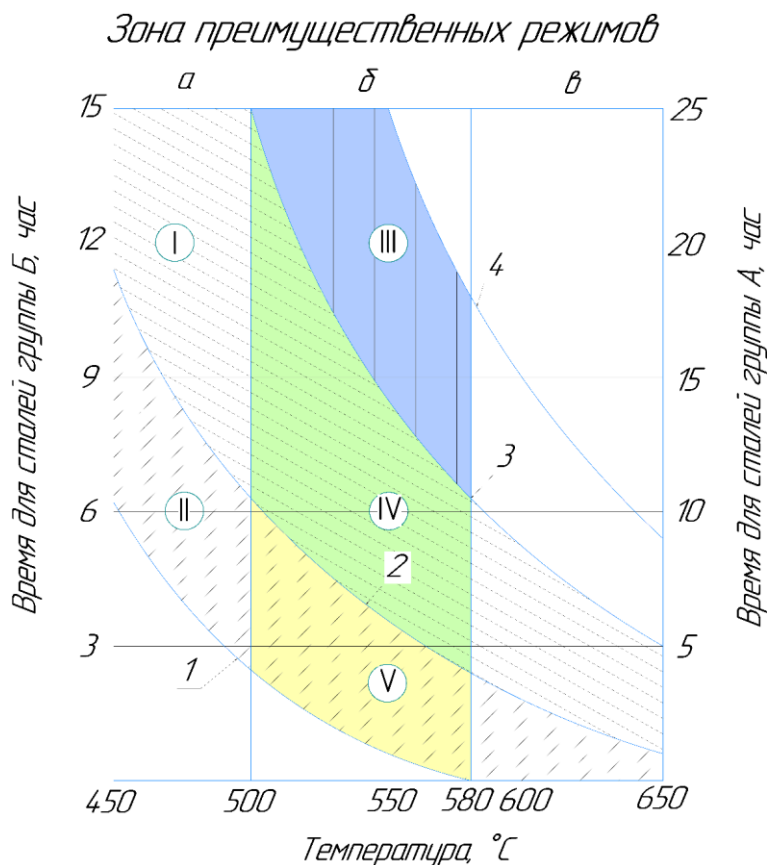


Рисунок 2 – Диаграмма рекомендуемых режимов ионного азотирования
конструкционных сталей

Группа Б – 20, 30, 40, 50, 60, 20Х, 35Х, 20ХН, 40Х, 40ХН – левая ось диаграммы.

Группа А – 38ХС, 40ХФА, 40ХНМ, 40ХГМ, 18ХНВА, 30ХГСА, 18Х2Н4ВА, 35ХН1М, 35ХН3М, 20ХН2МФА, 38ХН3МФАШ, 30Х3МФА, 25Х3Н3МФА, 38Х3МФСА, 38Х2МЮА, 20ХТ2Н3Ю, 30ХТ2Н3Ф, 40Х1Н4МФА, 45ХН2МФА, 45Х2Н2МФА, 25Х5М – правая ось диаграммы.

Кривые зависимостей глубины диффузионного слоя от времени изотермической выдержки при определённой температуре указаны цифрами и соответствуют диапазонам: 1 – $h = 0,1-0,15$ мм; 2 – $h = 0,2-0,25$ мм; 3 – $h = 0,4-0,5$ мм; 4 – $h \geq 0,6$ мм. Глубины слоёв внутри областей, ограниченных этими кривыми, определяют по эквидистанте.

Зона (а) включает режимы областей I и II, которые обеспечивают формирование азотированных слоёв глубиной 0,2 – 0,4 мм и 0,1 – 0,25 мм с умеренно развитой нитридной зоной 2 – 7 мкм. Режимы зоны (а) рекомендуются для упрочнения малогабаритных деталей, склонных к деформации и работающих в условиях износа при невысоких контактных нагрузках, усталостного нагружения и коррозионного воздействия.

Зона (б) зона преимущественных режимов включает области III, IV и V, которые ограничены температурами 500 – 580 °C и продолжительностью насыщения до 15 ч для углеродистых и малолегированных сталей (группа Б), до 25 ч для среднелегированных конструкционных сталей (группа А). Режимы зоны (б) рекомендуются для упрочнения ответственных деталей, работающих в условиях износа, усталостно-контактной нагрузки и коррозионного воздействия.

Зона (в) включает режимы азотирования при температурах более 580 °С. В этом случае на сталях формируются азотированные слои с пористой нитридной зоной и пониженной твёрдостью. Режимы зоны (в) можно рекомендовать для ответственных деталей простой конфигурации, работающих в условиях слабых контактных нагрузок, периодического износа и отсутствия коррозионного разрушения.

Низкотемпературные кратковременные режимы (500 – 530 °С, 2 – 4 ч) областей II и V, ограниченных на диаграмме кривыми 1 и 2, исследованы и внедрены впервые для получения качественных слоёв уменьшенной глубины (0,1 – 0,25 мм, HV 500 – 700 вместо 0,3 – 0,5 мм, HV 450 – 650) для высокопрочных деталей ($\sigma_{0,2} \geq 900$ МПа), изготавливаемых из сталей 38ХНЗМФАШ, 40Х1Н4М1ФА, 45ХН2МФА.

9.8 На образование пор как структурных микродефектов в нитридной зоне в основном влияет температура азотирования. С ростом температуры пористость увеличивается и при температуре ≥ 650 °С нитридная зона на легированных сталях уменьшается до 2 – 4 мкм, а на углеродистых и малолегированных сталях исчезает полностью.

Таблица 1 – Поверхностная твёрдость сталей после ИХТО (HV5 в кгс/мм²)

Сталь	Области режимов				
	I	II	III	IV	V
<u>Группа А</u> 38ХС; 40ХФА; 40ХНМ; 30ХГМ; 30ХГСА	400-650	380-650	500-600	450-650	400-650
18ХГТ; 40ХНФА; 18Х2Н4ВА; 18Х2Н4МА; 35ХН1МФА; 20ХН2МФА; 35ХН3М; 38ХН3МФАШ	450-750	450-700	500-800	500-800	450-700
30Х3МФА; 25Х3Н3МФА; 38Х3МФСА; 40Х1МФА; 40Х1Н4МФА; 45ХН2МФА; 45Х2Н2МФА	600-800	550-750	550-800	600-800	550-800
30ХТ2Н3Ф; 38Х2МЮА; 30ХТ2Н3Ю; 25Х5М	800-1200	800-1000	850-1100	900-1200	850-1100
<u>Группа Б</u> 20; 30; 40; 50; 60 20Х; 35Х; 20ХН; 40Х; 40ХН	250-450 350-550	200-400 300-500	250-450 350-550	250-450 350-550	300-400 300-500

9.9 Глубину упрочнённого слоя следует назначать в зависимости от величин удельных давлений на поверхность и условий эксплуатации деталей.

9.10 Глубина слоя для деталей общего машиностроения должна составлять 0,2 – 0,6 мм, но не более 5% от наименьшего сечения деталей или высоты зуба (профиля резьбы).

9.11 Для деталей, работающих только на трение, глубина упрочнённого слоя должна быть в диапазоне 0,1 – 0,2 мм, но не более 5% от наименьшего сечения деталей или высоты зуба (профиля резьбы).

9.12 Допускается обосновано повышать рекомендуемую глубину упрочнённого слоя для низколегированных и малоуглеродистых ($<0,17\% \text{ C}$) среднелегированных сталей до 10% от наименьшего сечения.

9.13 При назначении глубины слоя для сложноконтурных деталей, в особенности из легированных сталей, необходимо проводить расчёт на деформации, учитывая распределение напряжений сжатия в упрочнённом слое.

9.14 Для получения глубоких слоёв ($> 0,6\text{мм}$), в том числе заменяющих цементацию, применять безникелевые глубокопрокаливаемые стали.

9.15 Пружинные стали, содержащие кремний, марганец, хром, ванадий азотируются при температурах от 400 °С, обеспечивается повышение стойкости в условиях коррозионного воздействия и знакопеременных нагрузок. Упрочнённый слой назначается в зависимости от сечения глубиной 10 - 50 мкм.

9.16 Азотирование штамповых сталей при $T=550-600\text{ °С}$ повышает теплостойкость и разгаростойкость. Азотирование высокоуглеродистых штамповых сталей при $T=470-510\text{ °С}$ сохраняет твёрдость основы и улучшает триботехнические свойства.

9.17 Азотирование инструментальных сталей необходимо проводить в диапазоне $T=400-500\text{ °С}$ с контролем температуры на однотипной детали или её имитаторе.

9.18 Для сохранения коррозионной стойкости нержавеющей и хромистых сталей, необходимо применять низкотемпературные режимы упрочнения (до 427 °С). Глубина слоя обеспечивается по нижнему пределу из приложения А.

9.20 Процесс ионного азотирования осуществляется в среде:

- аммиак 100%;
- аммиак 20 – 90% и азот 80 – 10%
- смесь азота 10 – 90% и водорода 90 – 10%.

9.21 Процесс карбонитрирования осуществляется в среде аммиака или смеси азота и водорода, с добавкой углеродсодержащего газа (ацетилен, пропан) от 1 до 4%:

9.22 Процесс оксидирования для сталей и сплавов осуществляется после окончания режима азотирования или карбонитрирования напуском в вакуумную камеру: кислорода, водяных паров или воздуха.

9.23 Процесс вакуумного стабилизирующего отпуска осуществляется в среде аргона.

Восстанавливающий (светлый) стабилизирующий отпуск осуществляется в среде водорода 90-10% и аргона 10-90%

10 Расстановка деталей в камере

10.1 При формировании партии деталей для ИХТО необходимо учитывать, что суммарная площадь поверхности загружаемых деталей и технологических приспособлений (катода) не должна превышать площадь внутренней поверхности камеры (анода).

10.2 Детали в камере располагают в соответствии с указаниями технологической документации таким образом, чтобы обеспечить равномерный нагрев посредством ЭМИ и уменьшить деформации деталей при ИХТО.

10.3 Допускается совмещение деталей разного типа и марки материала в одной садке при соблюдении требований взаимного расположения и совпадении рабочих параметров процесса согласно п.6 и п.9.

10.4 Располагать детали следует симметрично относительно оси вакуумной камеры, детали, расположенные ближе к центру, разогреваются более интенсивно и охлаждаются дольше при прочих равных условиях.

10.5 Детали устанавливают на катодную плиту или многоярусную оснастку, либо подвешиваются. Устойчивость и прочность оснастки должна быть подтверждена расчётом при рабочей температуре процесса. Оснастка, несущая нагрузку, должна пройти один штатный режим упрочнения без нагрузки, для обеспечения равномерного покрытия и отсутствия деформаций.

10.6 Цилиндрические детали с центральным внутренним отверстием должны быть поставлены на опорные стойки высотой 40 – 60 мм для улучшения облета плазмы вокруг всех поверхностей и тем самым равномерного насыщения.

10.7 Детали, с малой опорной площадкой или смещенным центром тяжести, устанавливают или подвешивают в специальных приспособлениях, разрабатываемых индивидуально.

10.8 Минимальное расстояние между устанавливаемыми деталями должно быть не менее 30 мм при рабочем давлении более 400 Па. В случае использования более низких давлений расстояние должно быть увеличено.

10.9 При обработке крупногабаритных деталей минимальное расстояние между ними должно составлять не менее 50 мм. При совмещении плоскостей двух деталей параллельно друг другу расстояние между ними должно быть не менее 1/8 от минимального линейного размера, во избежание экранирования ЭМИ и перегрева.

10.10 При ИХТО деталей в подвешенном состоянии необходимо следить за тем, чтобы расстояния от детали до стенок камеры (анода) было не менее 50 мм.

10.11 Для исключения короткого замыкания между катодом и анодом, вызванного изменением габаритных размеров деталей в процессе ионного азотирования необходимо учитывать коэффициенты температурного расширения материалов.

10.12 Каждый режим упрочнения должен иметь не менее двух образцов-свидетелей от каждого типа деталей и марки материала для контроля основных характеристик упрочнённого слоя.

10.13 Образцы-свидетели должны быть визуально контролируемы во время режима ИХТО и располагаться непосредственно рядом с упрочняемой поверхностью деталей.

11 Режим ИХТО

11.1 Нагрев деталей и выдержка при температуре

11.1.1 Для минимального изменения геометрии деталей рекомендуемый темп нагрева должен составлять 1-1,5 °С/мин. Детали с малыми (тонкими) сечениями или развитым профилем поверхности греются быстрее и подвержены деформациям. Скорость нагрева для таких изделий следует подбирать индивидуально, в пределах 0,3 – 1,5 °С/мин.

11.1.2 Равномерным нагревом деталей в камере считается тепловое поле с градиентом до 10 °С. Допускается увеличивать это значение при получении характеристик упрочнённого слоя на деталях в пределах требований КД.

11.1.3 Контроль температуры во время процесса азотирования необходимо проводить в наименьшем сечении детали или на деталях с меньшей массой.

11.2 Охлаждение деталей в камере является ответственным этапом ИХТО. Температурные деформации возникают из-за неравномерной теплоотдачи – ЭМИ в инфракрасном диапазоне. Для минимального изменения геометрии после изотермической выдержки рекомендуется охлаждение деталей в плазме до температуры 250 °С, при этом с темпом, соответствующим этапу нагрева.

11.3 Охлаждение садки проводят тремя способами, а также их совмещением:

- медленное охлаждение с заданной скоростью в плазме тлеющего разряда – для сохранения геометрических характеристик высокоточных и сложноконтурных деталей;
- охлаждение без плазмы в вакууме;
- ускоренное охлаждение в газе (азот, аргон).

11.4 Температура деталей в камере перед девакуумированием должна быть не более 150 °С, чтобы избежать образование оксидных пленок на поверхности. Высокоточные детали охлаждать в вакууме до температуры близкой к нормальной – 25 °С.

11.5 После ИХТО допускается полировка поверхности.

11.6 Шлифовка поверхности не допускается, т.к. удаляется нитридная зона, которая обеспечивает основные свойства азотированного слоя.

11.7 В случае деформаций или получения некондиционного покрытия (шелушение, пористость, напыления грязи в результате плохой подготовки и прочее) необходимо провести шлифовку поверхностей в допусках КД. После этого повторно провести процесс ИХТО. Параметры процесса назначаются по результатам металлографического исследования твёрдости на образцах и контроля твёрдости на деталях, с учётом уменьшения глубины упрочнения после шлифовки.

12 Местная защита поверхности от азотирования

12.1 Поверхности, которые не должны подвергаться ионному азотированию, могут быть защищены одним из следующих способов или их комбинацией:

- специальным составом;
- специальной защитной пастой;
- экранированием поверхностей оснасткой;
- никелированием или омеднением по ГОСТ Р 58431 до глубины слоя 10 – 15 мкм.

12.2 Защита специальным составом. Местную защиту от азотирования осуществляют путем обработки участка детали специальными водными растворами простых химических соединений на основе медного купороса и хлорида натрия.

12.2.1 Данный способ подходит для защиты деталей, выполненных из конструкционных сталей и чугунов.

12.2.2 Для защиты поверхностей на деталях из нержавеющей сталей необходимо использовать другой метод.

12.2.3 В стеклянную или пластмассовую посуду необходимо налить небольшое количество раствора (рекомендуется предварительно подогреть до 40 – 60 °С с целью ускорения реакции взаимодействия с металлической поверхностью), затем тампоном нанести состав на защищаемую поверхность. Наличие подтеков не допускается. При нанесении раствора, защищаемый участок окрашивается в типичный медный цвет.

12.2.4 В случае плохого смачивания раствором поверхности деталей, её необходимо обезжирить ещё раз, при необходимости подогреть деталь до 40 – 60 °С.

12.2.5 Не рекомендуется наносить состав на один и тот же участок детали более двух раз из-за возможного повреждения тонкого слоя меди.

12.2.6 Слой меди по всей защищаемой поверхности должен быть однородным, не иметь просветов и пор.

12.2.7 В случае повреждения пленки меди необходимо зачистить участок шлифовальной бумагой зернистостью от 1200 по ГОСТ 10054 и вновь произвести обработку участка детали защитным раствором.

12.2.8 Излишки раствора удаляют фильтровальной бумагой.

12.2.9 Время полного высыхания раствора 15 – 20 мин. Время нанесения на деталь – непосредственно перед загрузкой максимум в течении смены.

12.2.10 Допускается использование источников тепла для ускорения сушки, при этом температура детали не должна превышать 90 °С.

12.2.11 В случае попадания раствора на участки деталей, не подлежащие защите от азотирования, пленку меди немедленно удалить путем обработки участка ветошью, смоченной водой. Допускается зачистка этого участка шлифовальной бумагой по ГОСТ 10054.

12.2.12 Хранить защитный раствор необходимо в закрытой таре, при этом выпадение осадка не является браковочным признаком. Срок хранения раствора не более 1 года.

12.3 Специальные пасты. Существуют специальные защитные пасты на минерально-полимерной основе, которые подобно омеднению предохраняют поверхности от азотирования.

12.3.1 Метод нанесения кистью или валиком, высыхание в течение нескольких минут после нанесения.

12.3.2 Примерами таких паст могут служить: LUISO W25, W51, CONDURSAL N9 и N9W. Также возможно применять масляные краски с минеральным наполнителем.

12.3.3 Площадь нанесения защитных составов и паст не должна превышать 20% от общей площади деталей в камере. При увеличении площади нанесения возможно ухудшение качества упрочненного слоя из-за распыления обмазки.

12.4 Оснастка. Втулки, пластины, диски, штифты, болты, гайки и т. д. – это специальные экранирующие приспособления для местной защиты металла.

12.4.1 Детали из конструкционных сталей, защищаются оснасткой, выполненной из углеродистых или низколегированных сталей.

12.4.2 Детали из нержавеющей сталей защищаются оснасткой из нержавеющей сталей близкого состава или одинакового температурного расширения.

12.4.3 Детали из сплавов на основе никеля или титана, защищаются оснасткой только из аналогичных сплавов.

12.4.4 Резьбовые поверхности защищаются гайками, винтами, втулками и другими приспособлениями.

12.4.5 Оснастка не должна иметь развитый рельеф поверхности.

12.4.6 Сварные швы на оснастке должны быть зачищены, проведён стабилизирующий отпуск, после этого проконтролированы размеры.

12.4.7 Требования к чистоте оснастки аналогичны требованиям к чистоте поверхности деталей.

12.4.8 Зазор между оснасткой и поверхностью детали должен быть не более 0,1 мм. Допускается увеличение зазоров при отработке режимов упрочнения и визуальном контроле, но не более 0,5 мм

12.4.9 Оснастка, имеющая линейные размеры более 200 мм в одной плоскости и/или малую массу, может образовывать зазоры с деталью даже в случаях одинакового коэффициента температурного расширения, ввиду плохого прилегания и теплопередачи, а потому неравномерного нагрева. Обеспечить расчётом и предварительной отработкой параметров режима на единичной сборке соответствие конструкции оснастки требованиям этого стандарта.

12.4.10 Срок использования оснастки не регламентируется, при малых сечениях оснастки возможно глубокое или сквозное азотирование при многократном использовании, в связи с чем возможны деформации и её выбраковка. При высокой стоимости изготовления и малой материалоемкости рационально изготавливать оснастку из высоколегированных сталей или сплавов с высоким содержанием никеля, что увеличит срок службы.

13 Требования к образцам-свидетелям

13.1 Образцы-свидетели изготавливают по техническим условиям предприятия-изготовителя из материала той же марки и плавки, что и детали, подвергаемые ИХТО.

13.2 Образец-свидетель перед поверхностным упрочнением необходимо термически обработать по режиму, идентичному с режимом ТО детали, для обеспечения одинаковых свойств материала. Наличие обезуглероженного слоя на поверхности образцов не допускается. Для деталей больших размеров и массы критично обеспечить одинаковую скорость нагрева и охлаждения образцов, рекомендуется образцы вырезать из припуска в том же сечении детали, где планируется нанесение упрочняющего покрытия.

13.3 Необходимо соблюдать соответствие балла зерна образцов-свидетелей и деталей. Размеры сечения образцов-свидетелей должны быть близки к рабочему сечению детали, для которой проверяют параметры поверхностного упрочнения.

13.4 Для деталей, габаритные размеры которых в двух плоскостях составляют менее 40 мм или имеют сечение менее 2 мм, необходимо применять детали-имитаторы, которые всеми характеристиками соответствует упрочняемым деталям. В качестве таких образцов-свидетелей могут быть использованы изделия, забракованные по геометрическим размерам в результате механической обработки.

13.5 Для серийной продукции в качестве образца-свидетеля рекомендуется применять деталь, забракованную по механической обработке или её часть.

13.6 В случае невозможности использования забракованной детали, размеры образцов-свидетелей должны быть приемлемы для металлографического анализа.

13.7 В качестве образцов-свидетелей рекомендуется изготавливать параллелепипеды с минимальными размерами 10x10x25 мм, 20x20x30 мм, либо цилиндры диаметром 20÷40 мм и высотой 15÷30 мм. Для зубчатых зацеплений и резьбовых поверхностей использовать фрагменты с такой же кривизной и профилем. Для высоты зуба (профиля резьбы) более 10 мм допускается использовать плоские образцы с толщиной равной рабочему сечению.

13.8 Перед расстановкой в вакуумную камеру образцы-свидетели должны быть замаркированы и обезжирены.

13.9 Количество образцов-свидетелей (не менее 2 на проводимый процесс упрочнения) и порядок их расстановки устанавливается технологической документацией предприятия-изготовителя, обязательно отображается в процессе запуска деталей в производство.

13.10 Шероховатость поверхности образца-свидетеля должна соответствовать шероховатости поверхности контролируемых деталей.

14 Требования к помещению, оборудованию

14.1 Требования к помещениям для основного и вспомогательного оборудования, а также для хранения и подготовки деталей в соответствии с категорией 4 ГОСТ 15150.

14.2 Все элементы оборудования должны быть исправны и проверены перед началом работ. Измерительные системы иметь действительные свидетельства о поверке или калибровке. Грузоподъемные механизмы, узлы и приспособления должны быть в надлежащем состоянии.

14.3 Корпуса вакуумных камер, всех электрических шкафов и частей должны быть заземлены согласно ГОСТ Р 58882.

14.4 Вакуумная камера должна быть оснащена устройством автоматического подъема или приспособлением для захвата крюком крана с возможностью регулировки положения талрепами. Вакуумная камера должна иметь направляющие для точного сопряжения частей. Механизм подъема должен иметь регулируемую или малую скорость перемещения – до 1,5 м/мин.

14.5 Помещение должно быть оборудовано приточной и вытяжной вентиляцией в соответствии с ГОСТ 32548.

14.6 Система управления в целом, технологическая программа с размещением деталей и положением датчиков температуры, контрольно-измерительные приборы, конструкция вакуумной камеры должны обеспечивать равномерность температурного поля по всему объему садки для получения стабильных результатов в заданных пределах КД.

14.7 В оборудование должна быть встроена сигнализация об ошибках и неисправностях, система защиты и аварийного отключения, с целью исключить неконтролируемый перегрев камеры, потерю герметичности и несущей способности.

14.8 Скорость натекания воздуха в вакуумную камеру не должна превышать $2 \frac{\text{Па} \cdot \text{л}}{\text{сек}}$

14.9 Система управления должна преследовать принцип «старт, и вы свободны» и давать следующие возможности:

- просмотр и редактирование технологических программ;
- возможность корректировки технологической программы во время режима;
- возможность ручного управления и контроля
- просмотр диаграммы технологических параметров текущего режима;
- просмотр архива технологических программ и вывод их на печать;
- сохранение данных на внешнем носителе (карта памяти);
- удаленный доступ к архиву, просмотр и управление работой оборудования;

- сигнализация об ошибках и неисправностях с архивированием;
- возможность установки таймеров межсервисных интервалов.

14.10 Требования к чистоте газов:

- аммиак ГОСТ 6221 безводный марка А;
- азот ГОСТ 9293 чистота не менее 99,95%;
- водород ГОСТ 3022 чистота не менее 99,95%;
- аргон ГОСТ 10157 чистота не менее 99,95%;
- ацетилен ГОСТ 5457 чистота не менее 99,5%;
- пропан ГОСТ Р 52087 марка ПТ, чистота не менее 99%;

14. 11 Для ускоренного охлаждения применяют:

- аргон и азот в любой пропорции.

15 Общие сведения о контроле после ИХТО

15.1 Для контроля качества поверхностно-упрочненного слоя детали должны подвергаться контрольно-сдаточным испытаниям.

15.2 Характер контроля (сплошной или выборочный) устанавливает предприятие-изготовитель.

15.3 Приемку производят на основании требований чертежа и технической документации предприятия-изготовителя на конкретные детали.

15.4 Контроль азотированного слоя проводят на деталях и образцах-свидетелях. При наличии указаний в технической документации предприятия-изготовителя качество упрочненного слоя проверяют на деталях-имитаторах.

15.5 После ИХТО контролю подлежат следующие характеристики:

- сплошность цвета и матовости упрочненного слоя на поверхности детали и образце-свидетеле;
- качество поверхностного слоя на деталях (шелушение, трещины и т.д.)
- поверхностная твердость по методу Виккерса;
- поверхностная микротвердость по методу Виккерса;
- глубина азотированного слоя, выявленная по микроструктуре;
- глубина азотированного слоя, выявленная по дорожке микротвердости;
- хрупкость азотированного слоя, по методу индентирования;

15.6 При наличии требований в технической документации предприятия-изготовителя дополнительно проверяют:

- твердость сердцевины;
- эффективную толщину упрочненного слоя ($h_{эфф}$), устанавливаемую на определенной глубине и/или значении твердости на определенном расстоянии от поверхности (h_n).

15.7 После ионного азотирования детали подвергают визуальному осмотру. Азотированная поверхность деталей должна быть однородного матово-серого цвета для низко- и среднелегированных сталей, допускается темно-серый цвет для высоколегированных и нержавеющей сталей, сплавов на основе железа, никеля и хрома. Немагнитные стали могут иметь коричневый цвет различных оттенков. Сплавы на основе титана имеют желтый цвет после азотирования. Места, закрытые оснасткой, могут иметь цвета побежалости и не являются браковочным признаком.

15.8 Контроль твёрдости азотированного слоя на деталях проверяют ультразвуковым твердомером с нагрузками 1, 5 или 10 кгс по методу Виккерса или на стационарном твердомере при возможности их базирования.

15.9 При неудовлетворительном качестве азотированного слоя на образце-свидетеле, рекомендуется проводить повторное исследование на деталях, относящихся к той же партии. Для этого отбирается деталь с минимальными значениями твёрдости по п.15.8 и разрезается для характеристик азотированного слоя.

15.9.1 Правила отбора и количество отбираемых деталей для повторного контроля определяется технологической документацией предприятия-изготовителя.

15.9.2 При положительном результате контроля на деталях, вся проверяемая партия считается годной.

15.9.3 При неудовлетворительных результатах исследований, детали совместно с образцами-свидетелями подвергаются повторной обработке, режим которой в каждом конкретном случае устанавливают согласованием технолог, конструктор и металлург/металловед предприятия-изготовителя.

15.9.4 Количество повторно проведенных режимов ИХТО должно быть не более двух.

16 Разрушающий контроль

16.1 В зависимости от глубины упрочненного слоя методика исследования варьируется. Рекомендуемые параметры металлографического исследования прописаны в приложении В.

16.2 Контроль упрочненного слоя проводить на рабочей поверхности детали/образца-свидетеля. На зубчатых колесах зафиксировать формирование упрочненного слоя по всему профилю зуба – контролировать слой на боковой (рабочей) поверхности зуба.

16.3 Хрупкость упрочненного слоя проверяется по методу невосстановленного отпечатка согласно шкале хрупкости ВИАМ, проводить на рабочей поверхности.

16.3.1 Осветлить исследуемую поверхность легкой полировкой (P2000 или P2500 или алмазная паста). Провести 2 измерения при выбранной нагрузке (согласно приложению В), время выдержки 10 сек. Для полученных отпечатков сравнивают со шкалой ВИАМ и определяют балл, которому соответствует вид отпечатка.

16.4 Измерение поверхностной (микро-)твёрдости проводить на рабочей поверхности по ГОСТ 2999, ГОСТ Р ИСО 6507-1, ГОСТ 9450.

16.4.1 Осветлить исследуемую поверхность легкой полировкой (P2000 или P2500 или алмазная паста).

16.4.2 Провести минимум 5 измерений при выбранной нагрузке (Приложение В), время выдержки 10 сек. Измерить длины двух диагоналей. Среднеарифметическое значение двух измерений должно быть использовано для вычисления твёрдости по Виккерсу.

16.5 Перевести среднеарифметическое значение d по переводным таблицам ГОСТ 2999, ГОСТ Р ИСО 6507-1, ГОСТ 9450.

16.6 Определение микроструктуры слоя и сердцевины, глубины слоя по микроструктуре (h_c) и толщины нитридной зоны ($h_{н.з}$) в случае разной травимости основы и слоя. Травить микрошлиф 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте (Продолжительность травления зависит от марки стали и структуры 5 – 40 сек) до четкого выявления структурных составляющих упрочненного слоя. Затем промыть шлиф под проточной водой, либо спиртом и высушить фильтровальной бумагой. При необходимости применить другие реактивы для выявления структуры (реактив Марбле). При низкотемпературных режимах диффузионный слой имеет особенности вытравливания, необходимо увеличить выдержку травления или использовать реактив Марбле.

16.6.1 Глубину упрочненного слоя определяют, как интервал значений (минимальное и максимальное значение) для данного образца или как среднюю величину из пяти измерений в местах наиболее значительного упрочнения.

16.6.2 Определить толщину нитридной зоны $h_{н.з.}$ (поверхностная слаботравящаяся зона) с помощью микроскопа при увеличении $\times 500/1000$, производя измерения в пяти характерных местах. Определить пористость нитридной зоны. За $h_{н.з.}$ принять интервал значений (минимальное и максимальное значение).

16.7 Определить структуру сердцевины ГОСТ 8233 (сорбит отпуска для улучшаемых сталей, феррито-перлитная структура для нормализованных сталей, мартенсит отпуска для быстрорежущих сталей), зафиксировать $\times 100/500$.

16.8 Также при наличии зафиксировать и подписать характерные участки микрошлифа (дефекты слоя: скалывание слоя, трещины; дефекты стали: полосчатость, карбидная неоднородность, балл зерна, включения, пористость, флокены).

16.9 Рекомендуется проводить контроль слоя при увеличении указанных в приложение В.

16.10 Определение общей глубины азотированного слоя по распределению микротвёрдости $h_{ТВ}$. В зависимости от термообработки, вида и качества стали, упрочненный слой может не выявляться (не видно границ «упрочненный слой-основа материала»), в таком случае необходимо определить глубину упрочненного слоя по микротвёрдости.

16.10.1 На подготовленном микрошлифе провести измерения микротвёрдости $HV_{сердц}$ (основы материала), отступив от края шлифа $\approx 1 - 3$ мм (середина шлифа).

16.10.2 Провести измерения микротвёрдости азотированного слоя от поверхности к сердцевине при нагрузке согласно приложению В, если иная нагрузка не предусмотрена ТЗ.

16.10.3 Первый «накол»-отпечаток произвести на расстоянии $5 - 25$ мкм от края азотированной поверхности, в зависимости от величины диагонали отпечатка. Дорожку можно закончить при получении подряд 3 значений, равных твёрдости сердцевины, на каждом расстоянии.

16.10.4 Требуется не менее $2 - 3$ измерений на одном расстоянии.

16.10.5 Зафиксировать вид дорожки микротвёрдости ($\times 100/200/500$ в зависимости от глубины слоя).

16.10.6 Построить график распределения микротвёрдости азотированного слоя в зависимости от его глубины, используя графический редактор.

16.10.7 Глубину азотированного слоя принять в зависимости от требований КД: $h_{ТВ}$ – общую глубину или $h_{эфф.}$ – эффективную глубину.

17 Неразрушающий контроль

17.1 самый достоверный способ получения данных о качестве диффузионного слоя и его характеристиках – разрушающий контроль (металлографическое исследование образца-свидетеля или детали-свидетеля).

17.2 При анализе технологии ИХТО важной и необходимой является оценка качества диффузионного слоя. При отсутствии возможности оценки параметров упрочнённого слоя металлографическим методом, допускается контролировать неразрушающим способом.

17.3 Визуальный контроль. Определить равномерность цвета и матовость детали. Определить наличие сколов, шелушения, трещин. После ИХТО деталь должна иметь равномерный цвет, без трещин, сколов и шелушения.

17.4 Поверхностная твёрдость. Измерить портативными ультразвуковыми твердомерами по методу Виккерса с прилагаемой нагрузкой HV1/HV5/HV10.

17.5 Капельная проба (экспресс-определение пористости нитридной зоны).

17.5.1 Осветлить небольшой участок исследуемой поверхности шлифовальной бумагой $\geq P1500$. Шероховатость поверхности должна быть $\leq R_a 1,6$.

17.5.2 Обезжирить исследуемую поверхность спиртом и нанести на нее каплю водного медного раствора ($20\% \text{ CuCl}_2 + 5\% \text{ NH}_4\text{Cl}$, $75\% \text{ H}_2\text{O}$). Через 30 секунд удалить раствор с образца.

17.5.3 Зафиксировать наличие и цвет выделившейся меди:

- a) выделение меди отсутствует – свидетельствует о наличии плотной качественной нитридной зоны;
- b) серое пятно – свидетельствует о наличии небольшого количества пор в нитридной зоне;
- c) выделение меди – свидетельствует о наличии большой пористости, малой глубине и несплошности нитридной зоны, либо её отсутствии.

17.6 Метод царапания (основан по принципу шкалы Мооса). Проверка твёрдости подобными методами косвенна и дает достоверных результатов, лишь сравнительные характеристики. Применение должно быть осмысленным и требует опыта.

17.6.1 Проверка напильником. Перед началом работ необходимо уточнить твёрдость напильника. Существуют специальные наборы для определения твёрдости металла данным способом. Напильником ($47 - 60 \text{ HRC} = 470 - 700 \text{ HV}$) поцарапать (сточить) азотированную поверхность.

- a) если остались царапины глубокие – азотированный слой отсутствует или имеет низкую твёрдость;

b) если царапина небольшая (неглубокая) – азотированный слой соответствует твёрдости напильника или имеет чуть большее значение твёрдости;

c) если царапин не осталось – то твёрдость азотированного слоя выше твёрдости напильника.

17.6.2 Проверка стеклом. Деталью (острым краем) поцарапать стекло.

a) если остались царапины глубокие – азотированный слой имеет высокую твёрдость (более 1000HV);

b) если царапина небольшая (неглубокая) – азотированный слой имеет сопоставимую твёрдость (800-900HV);

c) если царапин не осталось – то твёрдость азотированного слоя низкая, либо азотированный слой отсутствует (менее 700HV).

17.6.3 Проверка послойным съёмом материала с помощью ручного шлифовального инструмента и поэтапным контролем твёрдости и толщины данного сечения тарированным прибором (штангенциркуль, микрометр). Возможно, на ответственных сечениях деталей, необходим навык подобных исследований и апробированная методика.

Приложение А

(справочное)

Характеристики упрочнённого слоя для разных марок материалов

Таблица А.1 - Характеристики упрочнённого слоя для разных марок материалов

№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
1	Углеродистые стали			
1.1	ст0, ст1, 08КП, ст2, ст3, 20	300 - 450	0,1 - 0,6	Т=500 - 580°C Режим карбонитрации для сталей С <0,4% повышает твёрдость.
1.2	ст35Л, 40, ст45,		0,1 - 0,5	
1.3	ст5, 50, 60	400 - 500	0,05 - 0,35	
1.4	У7, У8		0,02 - 0,08	Т=400 - 500°C
1.5	У9, У10		0,02 - 0,05	
1.6	и их аналоги			
2	Низколегированные стали (легирующих элементов не более 2,5%)			
2.1	15ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2, 09Г2С и аналоги	400 - 650	0,1 - 0,7	Т=500 - 580°C режим карбонитрации повышает твёрдость.
2.2	20Х, 20ХЛ, 20ХН, 20ХГ	450 - 650	0,1 - 0,6	Т=450 - 580°C. Слои больше указанных возможны, но не рациональны, ввиду общей малой прочности стали.
2.3	38ХС, 38ХГ, 40Х, 40ХН, 40ХМ		0,1 - 0,5	
2.4	и их аналоги			

№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
3	Пружинные стали			
3.1	65, 70, 80, 85	350 - 500	0,03 - 0,2	T= 380 - 550°C T= 380 - 550°C
3.2	60Г, 65Г	400 - 600	0,02 - 0,2	
3.3	50ХГ, 50ХГФА, 50ХСА, 50ХФА, 55ХФА	550 - 700	0,01 - 0,2	
4	Среднелегированные стали (легирующих элементов от 2,5 до 10%)			
4.1	18ХГТ, 20ХГСА,	550 - 700	0,1 - 0,7	T=450 - 580°C. Основная группа конструкционных сталей. Параметры режимов устанавливаются в широком диапазоне. Приведены данные для деталей общего машиностроения. Детали высокой точности и малых размеров проектировать с требованиями меньше нижнего предела по глубине слоя (20-100мкм) и с максимальным значением твёрдости. Длительность режима зависит от темпа нагрева, изотермическая выдержка минимальная от 5 минут.
4.2	25ХГС, 25ХГТ, 30ХГСА, 30ХГМ		0,1 - 0,6	
4.3	38ХМА, 38ХВА, 40ХНМ, 40ХФА, 40ХНМА, 40ХМА, 40ХНФА	550 - 750	0,1 - 0,6	
4.4	38ХМФА, 40ХГМА, 40ХМВА,		0,1 - 0,7	
4.5	12ХНЗА	500 - 600	0,1 - 0,7	
4.6	12Х2Н4А, 12Х2НВФА, 18Х2Н4ВА	600 - 800	0,1 - 0,7	
4.7	35ХН1МФА, 20ХН2МФА, 35ХН3М, 40ХН2МА	550 - 700	0,1 - 0,7	
4.8	40Х1Н4МФА, 45ХН2МФА, 38ХН3МФА	600 - 700	0,1 - 0,7	
4.9	30Х2НМ, 38Х2Н2МА, 45Х2Н2МФА, 30ХТ2НВЮ	650 - 800	0,1 - 0,6	
4.10	25Х3Н3МФА, 38Х3Н3МФА	700 – 900	0,1 - 0,6	

№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
4.11	30X3МФ, 30X3МФА, 38X3МФСА, 38X3М1Ф1А	700 - 900	0,15 - 1,0	
5	Специальные стали для азотирования			
5.1	38ХВФЮА	900 - 1200	0,1 - 0,7	Т=470 - 580°С
5.2	38ХМЮА			
5.3	38Х2МЮА			
5.4	и их аналоги			
6	Жаропрочные и высоколегированные стали			
6.1	12ХМ,15ХМ	500 - 600	0,1 - 0,5	Т=540 - 600°С
6.2	12Х1МФ, 15Х1М1Ф	600 - 750	0,1 - 0,5	
6.3	15Х5М 25Х5М	1000 - 1200	0,05 - 0,3	
6.4	15Х11МФ, 12Х8ВФ, 12Х11В2МФ и аналоги	1000 - 1200	0,03 - 0,3	
7	Коррозионностойкие стали			
7.1	08Х13, 20Х13	800 - 1200	0,05 - 0,3	Т=400 - 600°С, режим карбонитрации для низкоуглеродистых сталей при Т<420°С повышает коррозионную стойкость. Нагрев
7.2	30Х13, 40Х13	700 - 1000	0,03 - 0,2	
7.3	25Х13Н2	800 - 1200	0,03 - 0,3	

№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
7.4	14X17H2, 07X16H4Б, 07X16H6, 15X16H2AM, 16X16H3МАД, 13X14H3B2ФР	950 - 1200	0,03 - 0,3	деталей в среде водорода и применение аргона для предварительной очистки поверхности. Высокотемпературные режимы снижают коррозионную стойкость, но повышают глубину упрочнения.
7.5	08X18H9, 12X18H9, 12X18H10T, 03X18H11, 12X21H5T	950 - 1200	0,02 - 0,3	
7.6	10X17H13M2T, 03X17H14M3T, 03X18H16M3 и аналоги	950 - 1200	0,02 - 0,25	
8	Мартенситно-стареющие стали			
8.1	H18K9M5T, H13K16M10, H16K11M3T2 и аналоги	700 - 800	0,05 - 0,3	T=460 - 500°C
9	Штамповые стали			
9.1	5XHM, 5XHB, 5XH2MФ	500 - 700	0,1 - 0,4	T=480 - 600°C. Низкотемпературные режимы применять для высокоуглеродистых сталей.
9.2	3X2B8, 3X3M3Ф, 4X5B2ФС, 4X3BMФ, 4X5MФС, 4X4BMФС	900 - 1200	0,03 - 0,4	
9.3	9X2, 9XC, 9X1	900 - 1200	0,03 - 0,3	
9.4	X5MФ, X6BФ	900 - 1200		
9.5	X12, X12M, X12MФ	1000 - 1200		
10	Быстрорежущие стали			

№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
10.1	P6M5, P6M5Ф3, P6M5K5	900 -1200	0,01 – 0,05	Т=440 - 500°С. Минимальные слои для инструмента с тонкими кромками и малыми углами заточки.
10.2	P9, P9Ф5 и аналоги		0,01 – 0,04	
10.3	P12, P12Ф3, P18 и аналоги		0,01 – 0,03	
11	Маломагнитные стали			
11.1	45Г17Ю3	600-900	0,1 - 0,3	Т=600 - 700°С. Для всех резьбовых соединений глубина слоя по нижнему пределу.
11.2	08Х18Н5Г12АБ, 0Х20Н4АГ10	600-1100	0,02 - 0,25	
11.3	NMS – 140 , 02Х17Н2МАГ20			
11.4	Magnadur 501 , 03Х14НМАГ20С			
11.5	и их аналоги			
12	Чугуны			
12.1	СЧ25, ВЧ35, ВЧ50	450 - 600	0,1 - 0,5	Т=500 - 570°С
12.2	ЧХ1, ЧНМШ, ЧН2Х	500 - 700		
12.3	ЧХ2, ЧХ3, и их аналоги	600 - 800		
13	Титановые сплавы			
13.1	BT1-0, BT1-1	600 - 800	0,01 - 0,05	Т=750 - 900°С
13.2	BT-6, BT-18, BT-20, OT-4			
13.3	и их аналоги			
14	Никелевые сплавы			

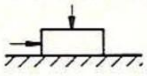
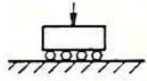
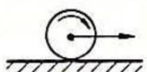
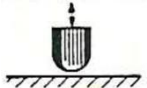
№	Марка материала	Поверхностная твёрдость, HV5 (для малых слоёв HV1 - HV0,1)	Глубина азотированного слоя, мм	Температура азотирования, дополнительные параметры процессов
14.1	ВКНА-1	600-1000	<0,02	T=700 - 850°C
14.2	Inconel 625, ХН70МБ, ХН70ВМТЮ			
14.3	и их аналоги			

Приложение Б

(справочное)

**Применяемые типы азотированных покрытий на различных сталях в зависимости от вида износа и его проявления на
трибосопрягаемых поверхностях деталей и инструмента**

Таблица Б.1 - Рекомендуемые типы азотированных покрытий в зависимости от вида износа и формы проявления

Вид износа	Форма проявления	Отметка	Тип поверхностного слоя				Рекомендуемая группа стали
			γ' -слой	$\gamma' + \epsilon$ -слой	ϵ -слой	Диффузионный слой (без нитидного слоя)	
Адгезионный	Задиры		+	0	++	—	1 – 6
	Лунки износа		++	—	+	0	7 – 10, 13
Абразивный	Канавки		+	0	+	0	9, 10, 13
	Царапины		+	0	+	++	11, 12
Трение скольжение с зернистым материалом	Царапины		+	0	+	0	9, 10, 13
	Шаржирование поверхности		+	0	+	++	11, 12
Контактный	Питтинговые раковины		+	0	+	0	1 – 5
			++	0	+	+	7 – 9, 13
При ударной нагрузке	Выкрашивание поверхности		+	—	+	0	1 – 5
			++	—	0	++	7 – 10, 13
			—	—	—	++	11, 12

Обозначения: «++» – отлично; «+» – хорошо; «0» – удовлетворительно; «-» – не применяется.

Рекомендуемые группы сталей условно разделены по структурному признаку и назначению на:

1 – малоуглеродистые; 2 – среднеуглеродистые; 3 – автоматные стали; 4 – серый чугун; 5 – чугун с шаровидным графитом; 6 – ковкий чугун; 7 – цементируемые стали; 8 – улучшаемые стали; 9 – азотируемые стали; 10 – инструментальные стали для горячей обработки; 11 – стали для холодной обработки; 12 – быстрорежущие стали; 13 – мартенситно-старяющие стали.

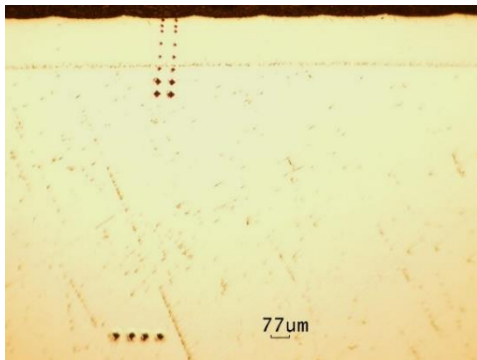
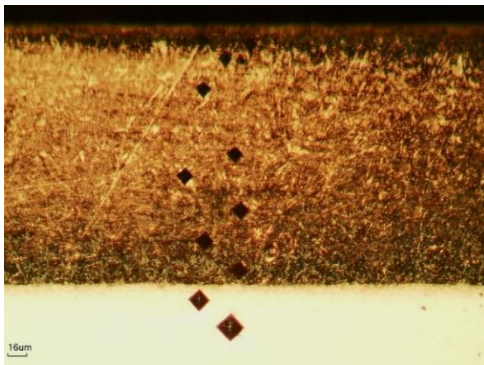
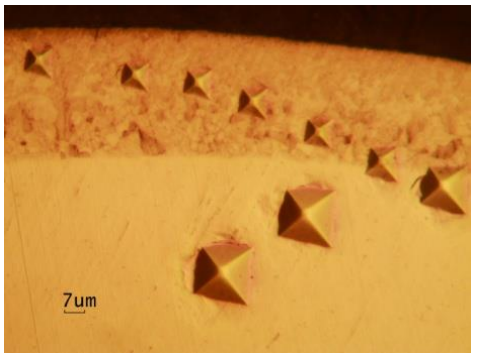
Приложение В

(справочное)

Рекомендуемые параметры металлографического исследования

Таблица В.1 - Рекомендуемые параметры металлографического исследования

Глубина упрочненного слоя $\geq$ 0,30 мм	Глубина упрочненного слоя 0,15 – 0,30 мм	Глубина упрочненного слоя 0,15 – 0,05 мм	Глубина упрочненного слоя $\leq$ 0,05 мм
1 Поверхностная (микро-)твёрдость			
Нагрузка 98,07 Н (10 кгс) и 294,2 Н (30 кгс). На той же поверхности измерить микротвёрдость при нагрузке 0,98 Н (100 гс), для построения дорожки микротвёрдости по глубине слоя.	Нагрузке 49,03 Н (5 кгс) и 98,07 Н (10 кгс). На той же поверхности измерить микротвёрдость при нагрузке 0,98 Н (100 гс), для построения дорожки микротвёрдости по глубине слоя.	Нагрузка 9,8 Н (1 кгс) и 49,03 Н (5 кгс). На той же поверхности измерить микротвёрдость при нагрузке 0,98 Н (100 гс), для построения дорожки микротвёрдости по глубине слоя.	Нагрузка $\leq$ 9,8 Н (1 кгс): 0,49 Н (50 гс), 0,98 Н (100 гс), 1,9 Н (200 гс), 4,9 Н (500 гс).
2 Определение микроструктуры слоя и сердцевины, глубины слоя по микроструктуре (h_c) и толщины нитридной зоны ($h_{н.з}$)			
x50, x100 – общий вид слоя x500 – нитридный слой, особенности слоя (при наличии)	x50, x100 – общий вид слоя x500 – нитридный слой, особенности слоя (при наличии)	x100, x200 – общий вид слоя x500, x1000 – нитридный слой, особенности слоя (при наличии)	x500 – общий вид слоя x1000 – нитридный слой, особенности слоя (при наличии)
3 Определение общей глубины азотированного слоя по распределению микротвёрдости $h_{тв}$			

Глубина упрочненного слоя $\geq$ 0,30 мм	Глубина упрочненного слоя 0,15 – 0,30 мм	Глубина упрочненного слоя 0,15 – 0,05 мм	Глубина упрочненного слоя $\leq$ 0,05 мм	
Нагрузка 0,49 Н (100 гс), расстояние между центрами следующих отпечатков 100 мкм.	Нагрузка 0,49 Н (100 гс), расстояние между центрами следующих отпечатков 50 – 100 мкм.	Нагрузка 0,49 Н (100 гс), расстояние между центрами следующих отпечатков 25 – 50 мкм.	Нагрузка 0,98 Н (50 г), 0,25 Н (25 гс) расстояние между центрами следующих отпечатков 5 – 10 мкм.	
Нанесение отпечатков («дорожки») твёрдости производить от края азотированной поверхности вглубь к сердцевине, перпендикулярно этому краю.  Пример перпендикулярной дорожки, x50		Нанесение отпечатков («дорожки») твёрдости производить от края азотированной поверхности вглубь к сердцевине «шахматным типом».  Пример шахматной дорожки, x200		Нанесение отпечатков («дорожки») твёрдости производить от края азотированной поверхности вглубь к сердцевине, диагонально.  Пример диагональной дорожки, x500
4 Хрупкость				
Нагрузка 294,2 Н (30 кгс).	Нагрузка 98,07 Н (10 кгс).	Нагрузка 49,03 Н (5 кгс).	Нагрузка 9,8 Н (1 кгс)	

Приложение Г

(справочное)

Упрочнение резьбовых деталей методами ИХТО

Г.1 При назначении покрытий для резьбовых соединений необходимо принимать во внимание несколько параметров: тип резьбы, высота профиля H , угол при вершине (впадине), радиус скругления вершины R .

Г.2 Сдаточные характеристики слоя на резьбе контролировать на боковой поверхности, при этом отмечать слой на вершине и во впадине. Контроль проводить согласно Приложению В (Рекомендуемые параметры металлографического исследования).

Г.3 Упрочненный слой в зависимости от вида резьбы образуется по-разному. Так, например, на крупной треугольной или трапецевидной резьбе слой будет распределяться равномерно, а на мелкой треугольной резьбе слой будет достигать максимального значения на вершине, что будет приводить к охрупчиванию и сколам. Малый слой обладает лучшей прочностью и упругостью, поскольку работает как мембрана на упругом основании.

Г.4 Оксидирование резьб, применяемое совместно с ионным азотированием или карбонитрированием (углерод+азот) позволяет создать комбинированное покрытие, устойчивое к агрессивным воздействиям солей (соляного тумана) и слабым растворам щелочей и кислот. Дополнительная обработка сразу после извлечения из вакуумной камеры парафинами, эпилами или эмульсиями, грунтовками или маслами, обеспечивает наилучшее комплексное покрытие с высокими адгезионными свойствами к металлу, а также гарантирует наилучшие триботехнические и антикоррозионные свойства изделий.

Г.5 Для всех типов резьбы рекомендуется применять основные параметры глубины слоя $h < H/25$ и $h < R/5$; Для круглой резьбы ограничений нет. (H – высота профиля).

Г.6 При высоких удельных контактных нагрузках допускается обосновано повышать глубину слоя для трапецевидных и круглых резьб $h < H/10$; прямоугольных и упорных резьб $h < H/15$.

Г.7 Для низколегированных ($< 2,5\%$) и низкоуглеродистых ($< 0,17\% \text{ C}$) сталей допускается обосновано повышать глубину слоя до $h < H/10$. Это связано с невысокой твердостью упрочнённого слоя и допустимыми напряжениями на поверхности детали исключаящими хрупкость.

Г.8 Слой во впадине резьбы не должен превышать слой на боковой поверхности.

Таблица Г.1 - Рекомендации по упрочнению резьб в зависимости от вида, примерные диапазоны глубины слоя в зависимости от удельной контактной нагрузки

№	Тип профиля резьбы	Рекомендуемая глубина слоя h в мкм при высоте профиля резьбы H в мм			
		< 1	1 – 5	5 – 10	10 – 30
1	Треугольная (угол при вершине 55 – 60 °)	<40	20-100	50-200	100-300
2	Прямоугольная	<50	30-120	50-250	120-350
3	Упорная, в т.ч. усиленная	<50	50-150	80-300	150-400
4	Трапецеидальная	<80	50-200	100-350	200-500
5	Круглая	<100	100-300	200-400	300-500

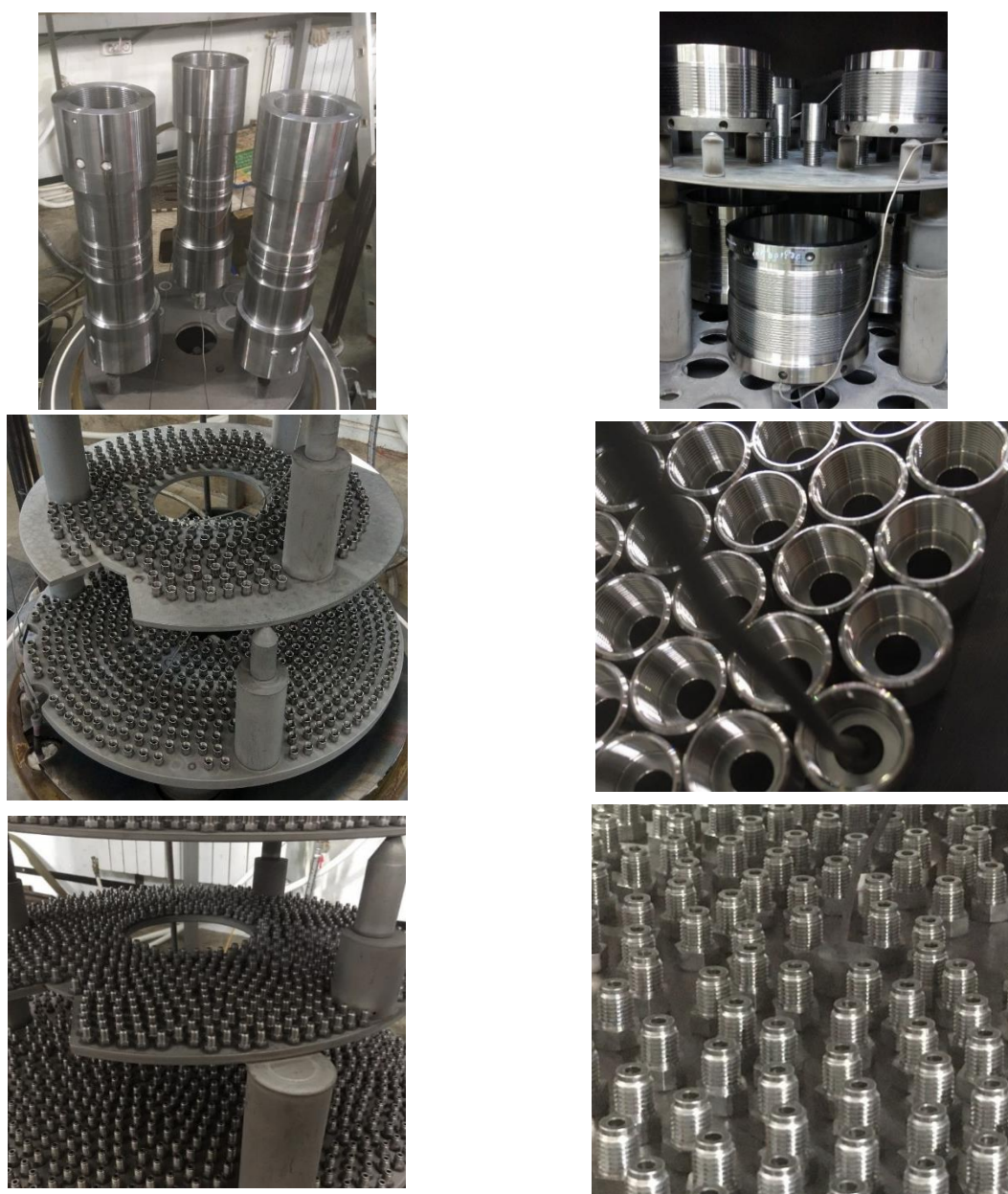


Рисунок Г.1 – Вид упрочняемых деталей

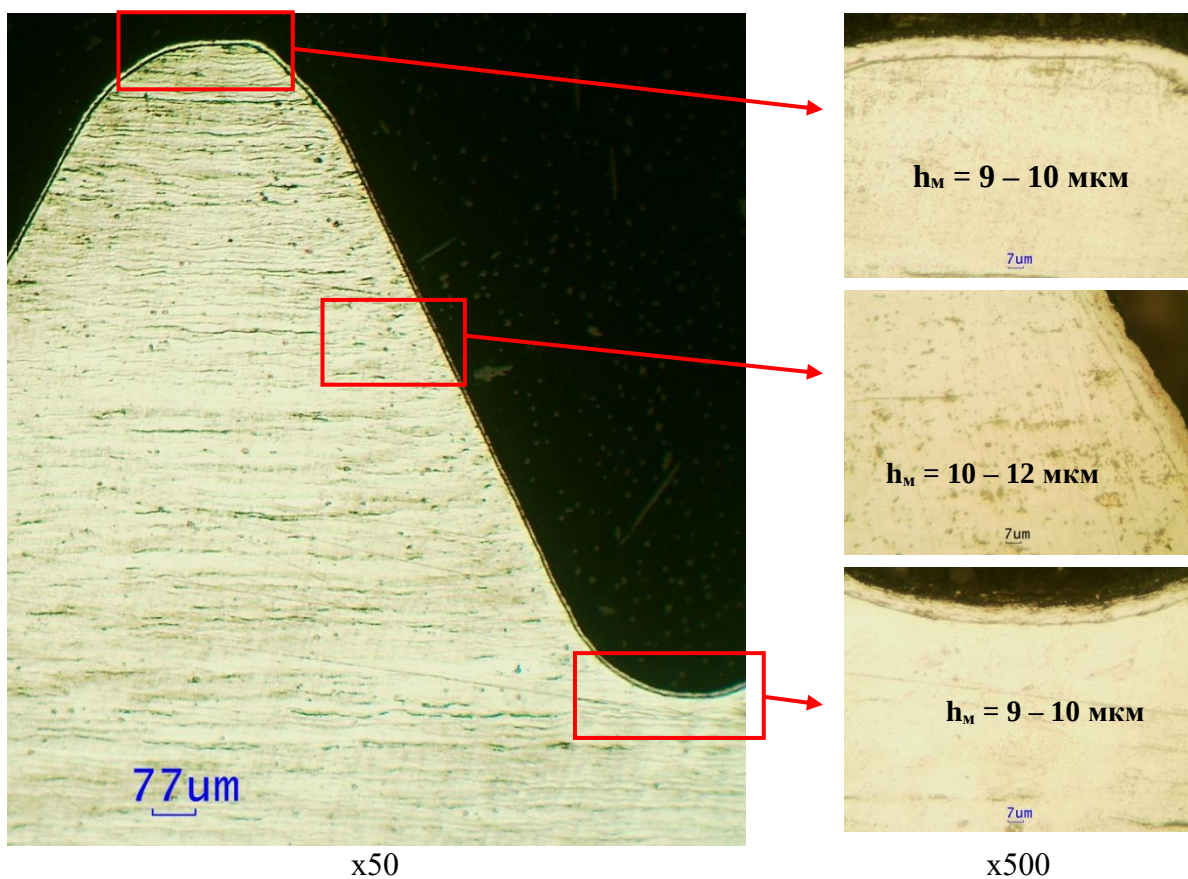


Рисунок Г.2 – Микроструктура азотированного слоя стали 12X18H10T после низкотемпературного режима азотирования

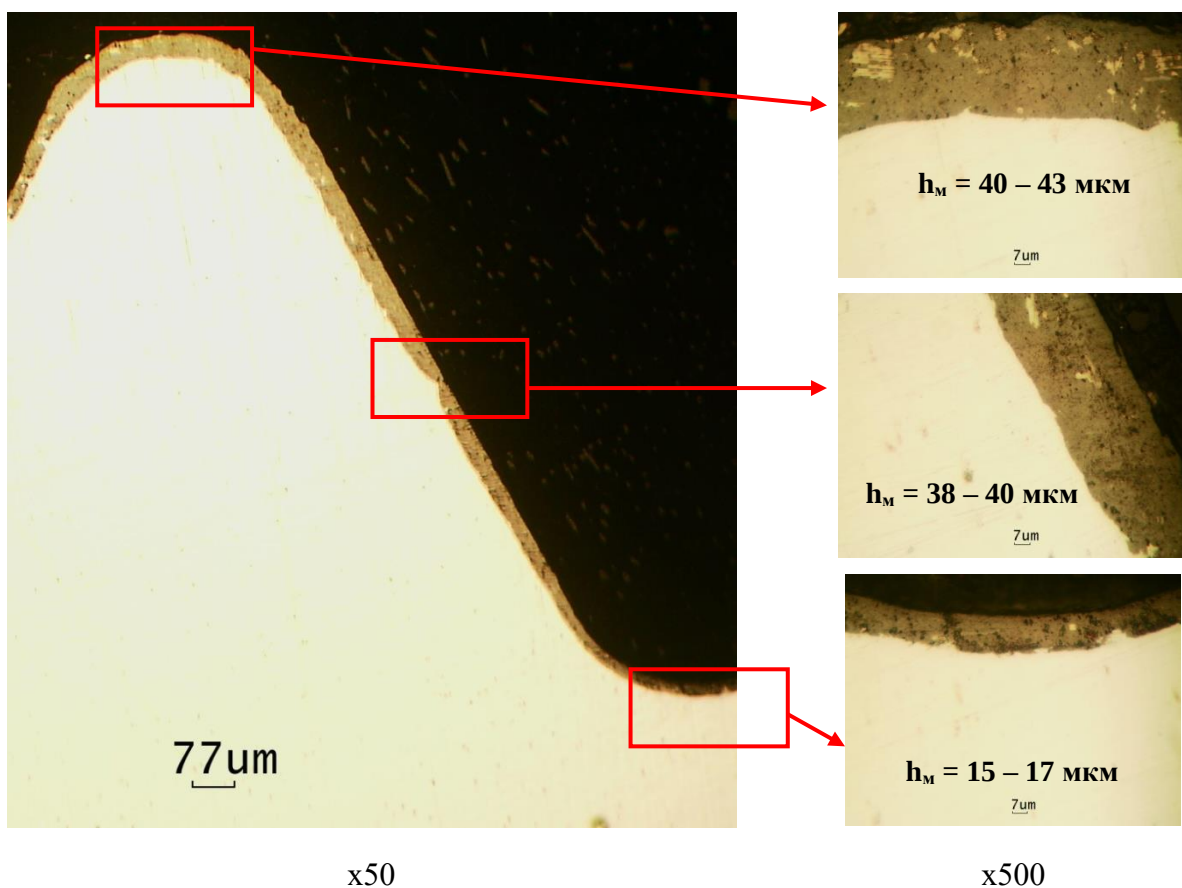


Рисунок Г.3 – Микроструктура азотированного слоя стали 12X18H10T после высокотемпературного режима азотирования

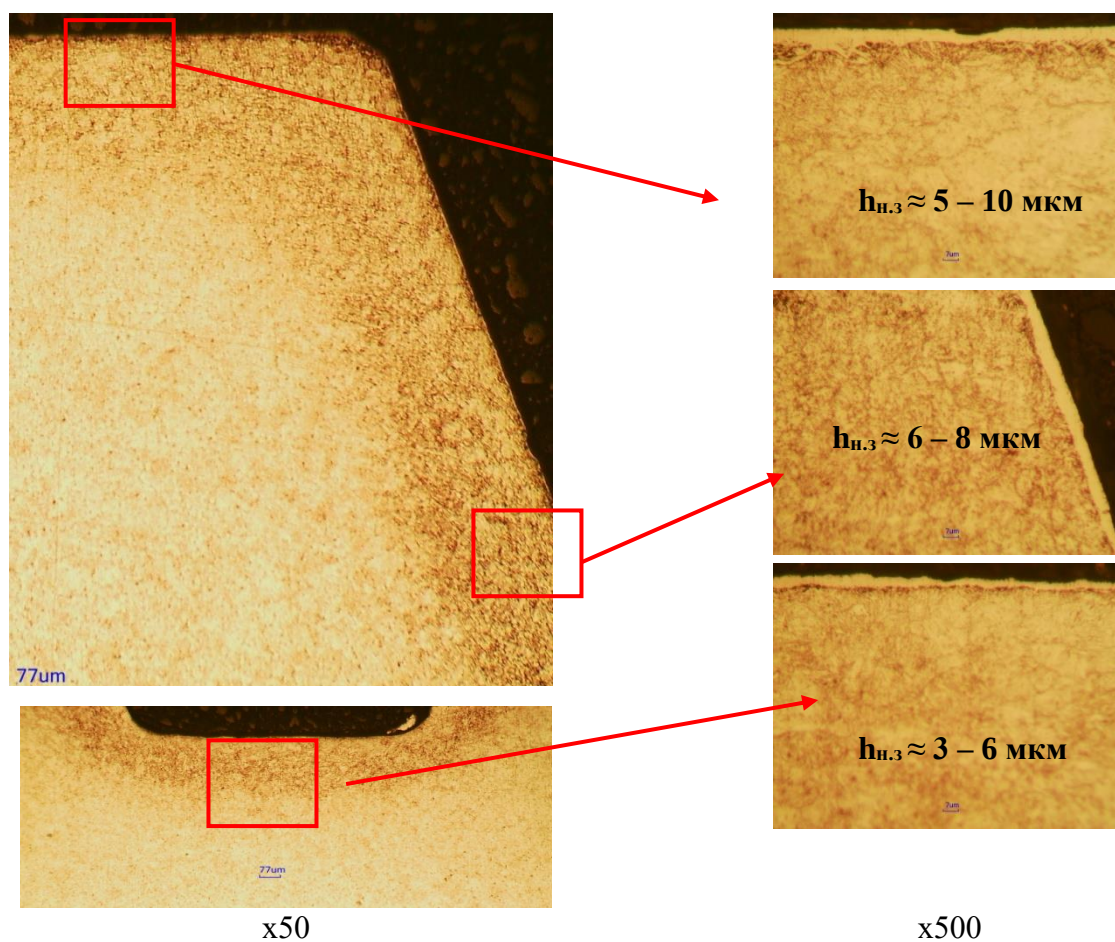


Рисунок Г.4 – Микроструктура азотированного слоя на стали 40X

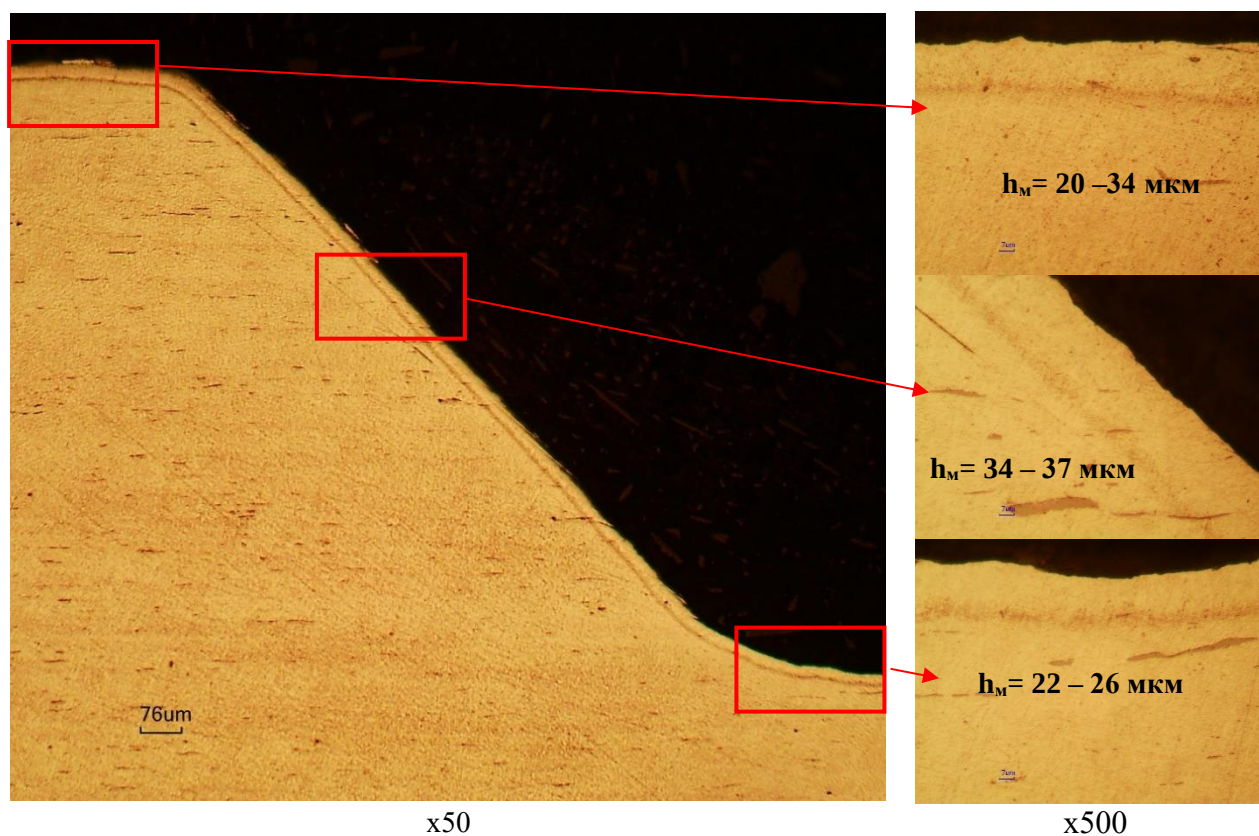


Рисунок Г.5 – Микроструктура азотированного слоя на 25X13H2

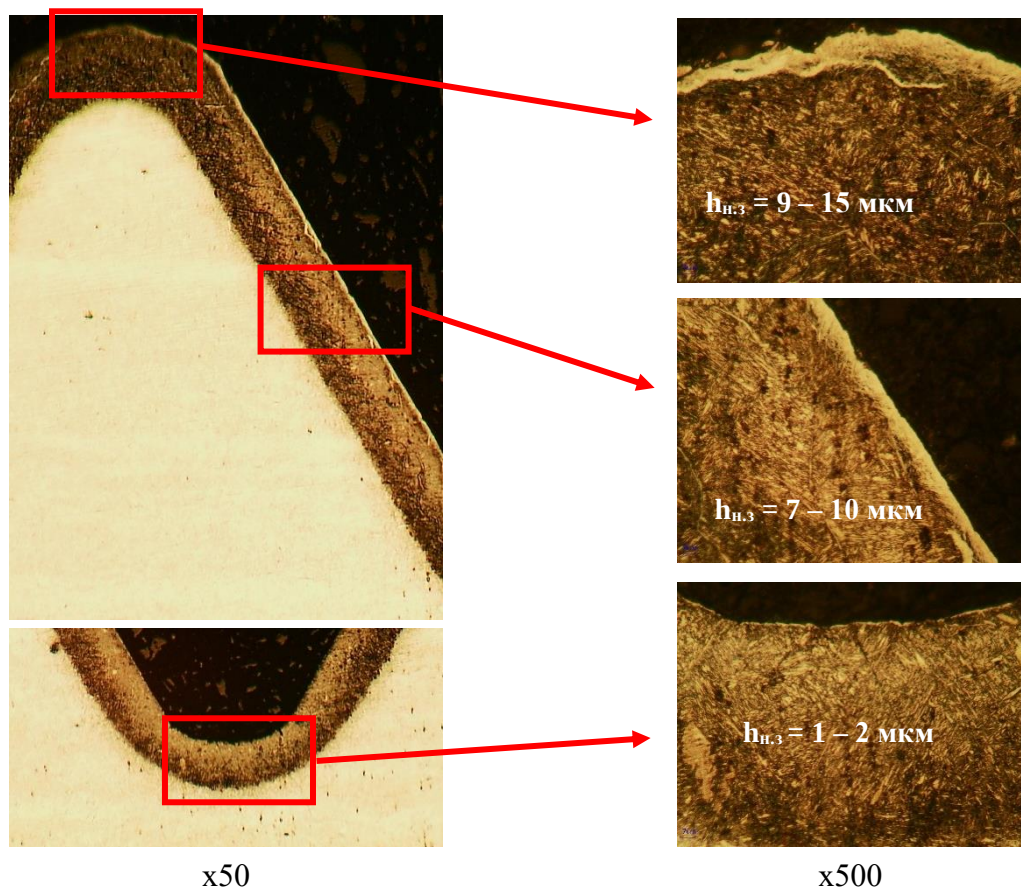


Рисунок Г.6 – Микроструктура азотированного слоя на 4X5ФС

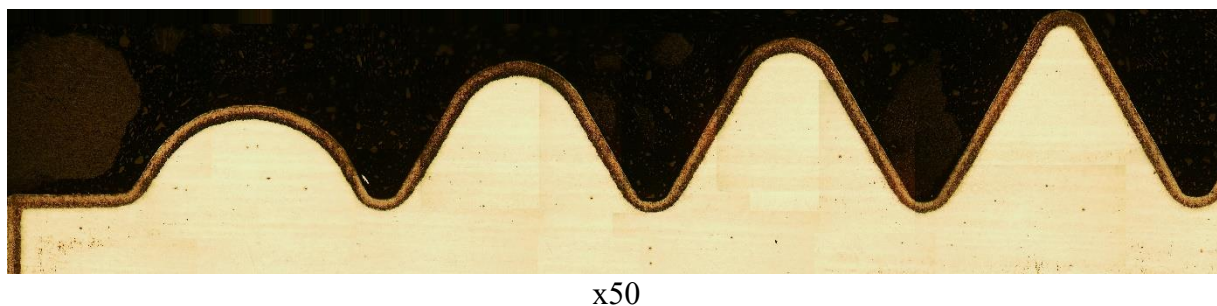


Рисунок Г.7 – Вид микроструктуры азотированного слоя на 4X5ФС

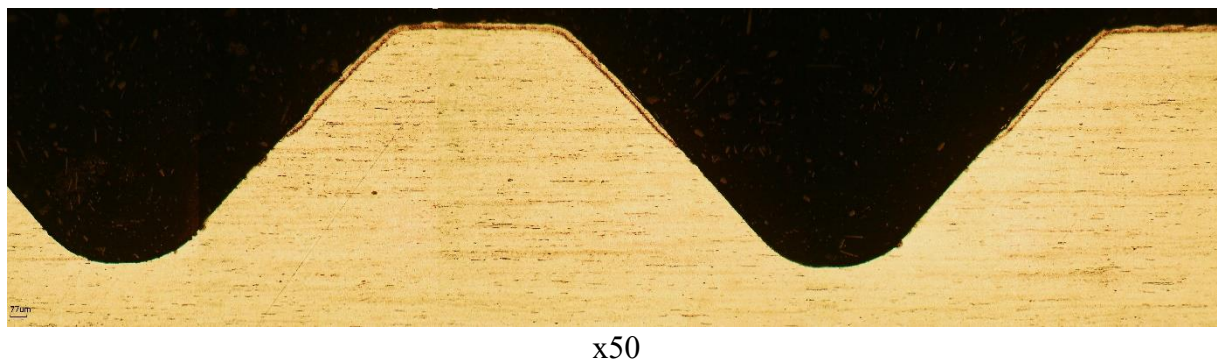


Рисунок Г.8 – Вид распределения азотированного слоя на 25X12H2