

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»

ОСНОВЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Методические рекомендации
по выполнению лабораторно-практических работ

Составители С. А. Саханько, К. С. Круликовский, М. В. Нерода

Барановичи
БарГУ
2018

УДК 621.8(076.5)
ББК 34.651.61я73-5
О-72

Составители:

С. А. Саханько, С. И. Круликовский, М. В. Нерода

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии БарГУ *А. К. Гавриленя*,
начальник РМУ ОАО «БААЗ» *В. Г. Шидловский*

О-72 Основы ионно-плазменного азотирования деталей машин : метод. рекомендации по выполнению лаборатор.-практ. работ / сост.: С. А. Саханько, С. И. Круликовский, М. В. Нерода ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2018. — 44 с.
ISBN 978-985-498-790-3.

В издании изложены общие сведения и понятия об основах ионно-плазменного азотирования деталей машин. В содержании лабораторных работ представлены последовательность этапов и сведения, необходимые для выполнения.

Предназначено для выполнения лабораторных работ студентами специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производства (по направлениям)» БарГУ.

УДК 621.8(076.5)
ББК 34.651.61я73-5

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| <i>Лабораторная работа 1</i> Анализ технологии азотирования как метода упрочнения поверхности..... | 5 |
| <i>Лабораторная работа 2</i> Определение твердости материалов..... | 11 |
| <i>Лабораторная работа 3</i> Ознакомление с оборудованием ионно-плазменного азотирования для упрочняющей обработки деталей машин..... | 24 |
| <i>Лабораторная работа 4</i> Ознакомление с правилами безопасной работы на установке ионно-плазменного азотирования | 41 |
| Список использованных источников | 44 |

Репозиторий БарГУ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в промышленно развитых странах наметилась тенденция к широкому применению ионного азотирования как метода низкотемпературной химико-термической упрочняющей обработки деталей машин, режущего и штампового инструмента. В значительной степени этому способствует создание высокотехнологичного автоматизированного оборудования — установок ионного азотирования, — которое позволило избавиться от таких недостатков газового азотирования, как длительное время процесса, повышенная хрупкость слоя, недостаточная контактная выносливость, трудоемкость процесса, нестабильность получаемых результатов.

В настоящее время азотирование благодаря своим преимуществам широко применяется во всех промышленно развитых странах. Однако возможности этого вида химико-термической обработки, связанные с многообразием формирующихся структурных и фазовых особенностей азотированных слоев, не полностью использованы. Работы по исследованию и расширению применения азотирования для обеспечения различных свойств и созданию новых азотируемых материалов ведутся многими крупными научными коллективами мира.

Технологическими факторами, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси.

Лабораторная работа 1

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АЗОТИРОВАНИЯ КАК МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Цели работы: ознакомиться с методиками жидкого, газового и ионно-плазменного азотирования, изучить механизм насыщения и физико-механические свойства металлических деталей.

ХОД РАБОТЫ

1 Краткие теоретические сведения

1.1 Обзор способов азотирования

Методы азотирования часто различают по агрегатному состоянию азота в исходном состоянии: жидкий — карбонитрирование (цианирование) в расплаве солей; газообразный — газовое азотирование и карбонитрирование; ионизированный газ — азотирование и карбонитрирование в плазме тлеющего разряда (табл. 1.1).

Названные методы азотирования имеют свои достоинства и недостатки, которые должны приниматься во внимание при выборе азотирования в зависимости от требуемых параметров детали и достигаемых свойств в процессе азотирования.

Процесс азотирования в расплаве солей благодаря короткому времени процесса является очень гибким. Этот метод наиболее выгоден в тех случаях, когда на первом месте стоит повышение износо- и коррозионностойкости обрабатываемых поверхностей. Однако некоторые (более

Т а б л и ц а 1.1 — Обзор способов азотирования

| Способ азотирования | Среда азотирования | Температура обработки, °С | Длительность обработки, ч | Результат |
|---------------------|--|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Расплав солей | Цианат/цианит | (480) 560...580 | 0,2...3 | Карбонитрид |
| Газ | NH ₃ NH ₃ + CO ₂ | 510...540 550...620 | 20...120 1,5...6 | Нитрид, карбонитрид |
| Плазма | N ₂ + H ₂ | 300...590 | 5...60 | Нитрид, |

| | | | | |
|--|--------------------|-----------|---------|-------------|
| | $N_2 + H_2 + CH_4$ | 500...590 | 0,2...6 | карбонитрид |
|--|--------------------|-----------|---------|-------------|

и менее значимые) недостатки этого процесса ограничивают применение данного метода, в особенности для больших деталей: большие затраты на мойку после азотирования, на восстановление и удаление соли и моечного раствора; большие затраты энергии при работе ванны, что ограничивает размер ванны; температура обработки сильно ограничена; частичное азотирование трудноосуществимо.

Газовое азотирование — это более универсальные процессы азотирования, которые в прошедшие 10 лет интенсивно развивались с точки зрения технологии, оборудования и систем управления. В особенности при обработке крупного инструмента и зубчатых колес на основании существенного снижения температуры обработки и отсутствия дальнейшей обработки азотирование имеет экономические преимущества по сравнению с другими видами химико-термической обработки (например, цементацией).

Несмотря на высокий технологический уровень этих методов газового азотирования, имеется несколько моментов, которые ограничивают применимость этих методов с технических, экономических и экологических точек зрения: высокое потребление газа; использование горючих газов, что требует специальных мероприятий по защите; нет возможности депассивации поверхности деталей в процессе азотирования; невозможно азотирование нержавеющей сталей; высокие расходы по нанесению и удалению специальных средств для защиты неазотируемых поверхностей.

Ионно-плазменное азотирование. Первое применение азотирования в плазме появилось в 30—40-х гг. прошлого столетия. Позже, в 60—70-х гг., этот метод развился до промышленных масштабов. Первые установки азотирования в плазме имели холодные стенки камеры и работали с постоянным током. Дальнейший толчок в развитии азотирования в плазме получило в середине 80-х гг. с появлением пульсирующего метода. При этом возбуждение плазмы достигается посредством пульсирующего постоянного напряжения. Появление электрической дуги избегается с помощью постоянного прерывания напряжения. Также необходимо разделять подводимую мощность плазмы и нагрев деталей до температуры обработки. Установки постоянного тока с необходимостью охлаждения стенок камеры для отвода избыточной тепловой энергии (установки с холодными стенками) постепенно теряют актуаль-

ность. Установки с горячими стенками с отдельным нагревом стенок камеры являются сегодня стандартом в плазменном азотировании.

1.2 Механизм формирования азотированного слоя

При классических процессах азотирования в расплаве солей и газах происходит диссоциация азотосодержащих компонентов и образование азотированного слоя вследствие термохимического процесса в условиях атмосферного давления или небольшого избытка давления. Для разложения азотосодержащих компонентов, активации процесса и образования нитридов необходима энергия термической реакции. Для поддержания процесса азотирования существует минимальная температура, при которой процесс насыщения еще не идет или идет очень медленно, что экономически невыгодно. Необходимые температуры процессов приведены в таблице 1.1.

В противоположность названным выше процессам при ионно-плазменном азотировании необходима энергия возбужденного газа (плазма тлеющего разряда), чтобы активировать необходимую реакцию для образования связующего слоя (СС) и диссоциации молекул азота на атомы.

Азотируемые детали, сформированные в садку, помещаются в нагреваемую вакуумную камеру. После откачки до рабочего давления (с 20 до 1 000 Па) между садкой (катод) и стенкой камеры (анод) прикладывают пульсирующее напряжение более сотни вольт, так что находящийся в камере газ ионизируется и становится электропроводным. В зависимости от величины приложенного напряжения между обрабатываемыми деталями и стенкой камеры зажигается тлеющий разряд, который в зависимости от давления, температуры и газа характеризуется определенным свечением. Активные атомы азота в смеси обрабатываемых газов могут образовывать с атомами железа азотируемой стали химическое соединение. Кроме того, атомы азота диффундируют в зависимости от температуры и времени вглубь стали.

1.3 Физико-механические свойства азотированных металлов

1.3.1 Сопротивление износу трущейся поверхности

Азотированный слой может обладать очень высокой износостойкостью, в несколько раз превышающей износостойкость закаленных высокоуглеродистых и цементированных сталей. Износостойкость азотированного слоя полностью определяется химическим составом металла и режимом химико-термической обработки.

1.3.2 Сопротивление усталостному разрушению

Повышение усталостной прочности металла при азотировании объясняется возникновением остаточных напряжений сжатия, которые уменьшают растягивающие напряжения от внешней нагрузки. Максимальная величина сжимающих напряжений (до 400 МПа) находится в поверхностной нитридной зоне на глубине не более 20 мкм. В зоне внутреннего азотирования сжимающие напряжения составляют всего 100—200 МПа. Однако, несмотря на меньшую величину остаточных напряжений, основной вклад в повышение предела выносливости дает именно зона внутреннего азотирования из-за большей ее протяженности по глубине. Состояние поверхности деталей оказывает решающее влияние на их прочность при циклических нагрузках. Сопротивление металла циклической усталости по всей глубине определяется в основном отсутствием повреждений тонкого поверхностного слоя. Поверхностное упрочнение снижает вероятность образования и развития микротрещин и повышает сопротивление усталостному разрушению.

1.3.3 Контактная выносливость

Азотирование изделий — один из методов повышения предела контактной выносливости; связано такое упрочнение поверхности с образованием в азотированном слое остаточных напряжений сжатия. Сопротивление контактной усталости азотированного слоя ниже цементированного, но выше получаемого при поверхностной индукционной закалке. Кратковременное газовое азотирование не дает необходимой контактной прочности. Увеличение длительности процесса азотирования и, соответственно, толщины азотированного слоя способствует увеличению контактной выносливости. Высокий уровень контактной выносливости поверхности деталей определяется только химико-термической обработкой, создающей зону внутреннего азотирования из азотистого мартенсита.

1.3.4 Коррозионная стойкость

Зона внутреннего азотирования за счет обеднения твердого раствора легирующими элементами при выделении упрочняющих фаз снижает сопротивление химической коррозии. Создание гетерофазной структуры приводит к образованию множества гальванических пар, что снижает к тому же сопротивление электрохимической коррозии. В общем случае азотирование может ослабить сопротивление коррозии легированных сталей, если не использовать специальные режимы химико-термической обработки, повышающие коррозионную стойкость. Для использования азотированных деталей в коррозионных и окислительных средах при повышенных температурах необходимо получить на поверхности диффузионный слой с развитой нитридной зоной, которая блокирует движение атомов кислорода вглубь, замедляя тем самым процессы коррозии. Нитридный слой, обладая высокой коррозионной стойкостью на воздухе, в атмосфере с высокой влажностью, а также при повышенной температуре (до 500°C) повышает тем самым коррозионную стойкость деталей. Нитриды металлов более стойки против окисления по сравнению с металлами. Еще лучшими защитными свойствами обладают многофазные нитридные покрытия. Азотирование можно использовать для повышения сопротивления коррозии технического железа и углеродистых малолегированных сталей, находящихся в атмосферных условиях и в пресной воде.

1.3.5 Жаропрочность тугоплавких металлов

Азотирование поверхности позволяет (кроме повышения прочности в обычных условиях при температуре окружающей среды) увеличить жаропрочность тугоплавких металлов и сплавов, т. е. увеличить прочность металла при более высокой температуре.

Повышение жаропрочности при азотировании обеспечивается образовавшимся покрытием, которое препятствует движению и выходу дислокаций на поверхность. Основное сопротивление высокотемпературной пластической деформации азотированных сплавов тугоплавких металлов обеспечивает зона внутреннего азотирования. При азотировании сплавов молибдена, ниобия, ванадия и некоторых других металлов повышается температура начала рекристаллизации на 200...300°. По-

Повышение температуры рекристаллизации объясняется тем, что атомы азота, находящиеся в твердом растворе, задерживают формирование и рост центров рекристаллизации. В целом повышение жаропрочности тугоплавких металлов связано со стабилизирующим действием нитридов. Нитриды увеличивают сопротивление ползучести и препятствуют перемещению дислокаций.

Жаропрочность значительно повышается с увеличением концентрации легирующих элементов, способствующих активному образованию нитридов. Повышение жаропрочности зависит от типа формирующейся зоны внутреннего азотирования. Формирование зоны внутреннего азотирования полностью определяется режимом химико-термической обработки, если этот режим подобран и настроен на создание диффузионного слоя, способствующего повышению жаропрочности металлов.

2 Практические задания

1. Ознакомиться с содержанием методических рекомендаций.
2. Оформить отчет в установленной форме.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3 Контрольные вопросы

1. Опишите существующие способы азотирования.
2. Как формируется азотированный слой?
3. Дайте краткую характеристику физико-механическим свойствам азотированных металлов.

Лабораторная работа 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цели работы: ознакомиться с методиками определения твёрдости материалов, измерить микротвёрдость образцов, предложенных преподавателем.

Оборудование: твердомер LTF Galileo MICROSCAN AC, азотированные образцы из различных сталей.

ХОД РАБОТЫ

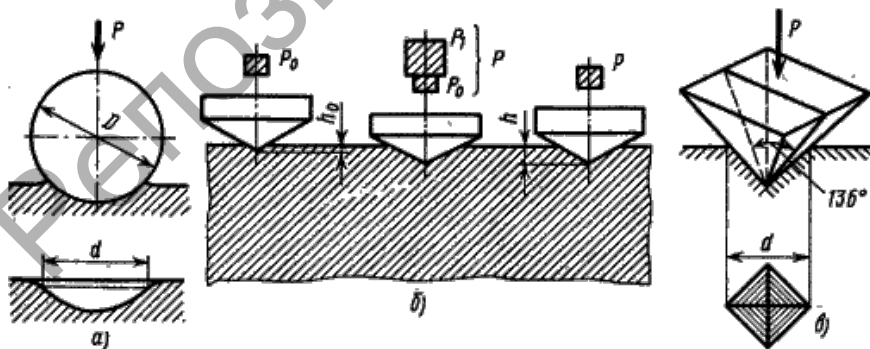
1 Краткие теоретические сведения

1.1 Твёрдость как характеристика свойств материала

Твёрдость — это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

Это разрушающий метод контроля, основной способ оценки качества термической обработки изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. Представим схемы испытаний (рис. 2.1).



а — метод Бринелля; б — метод Роквелла; в — метод Виккерса

Рисунок 2.1 — Схемы определения твердости

В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои материала, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным материалом. В таких условиях возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна по сравнению с получаемыми при других видах механических испытаний (на растяжение, изгиб, кручение, сжатие). Поэтому при измерении твердости вдавливанием *пластическую деформацию* испытывают не только пластичные, но также металлы (например, чугун), которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются практически без пластической деформации.

Таким образом, твердость характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство материала, отличающееся от других его механических свойств способом измерения.

Рассмотрим преимущества измерения твердости.

1. Между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности), существует количественная зависимость. Так, сосредоточенная пластическая деформация металлов (при образовании шейки) аналогична деформации, создаваемой в поверхностных слоях металла при измерении твердости вдавливанием наконечника.

Подобная количественная зависимость не наблюдается для хрупких материалов, которые при испытаниях на растяжение (или сжатие, изгиб, кручение) разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако в ряде случаев и для этих металлов (например, серых чугунов) наблюдается качественная зависимость между пределом прочности и твердостью; возрастанию твердости обычно соответствует увеличение предела прочности на сжатие.

По значениям твердости можно определять также и некоторые пластические свойства металлов. Твердость, определенная вдавливанием, характеризует также предел выносливости некоторых металлов, в частности меди, дюралюминия и сталей в отожженном состоянии.

2. Измерение твердости по технике выполнения значительно проще, чем определение прочности, пластичности и вязкости. Испытания твердости не требуют изготовления специальных образцов и выполняются непосредственно на проверяемых деталях после зачистки на поверхности ровной горизонтальной площадки, а иногда даже и без такой подготовки. Измерения твердости выполняются быстро.

3. Измерение твердости обычно не влечет за собой разрушения проверяемой детали, и после измерения её можно использовать по своему назначению, в то время как для определения прочности, пластичности и вязкости необходимо изготовление специальных образцов.

4. Твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях, не превышающих (для некоторых способов измерения твердости) десятых долей миллиметра, или в микрolumesах металла; в последнем случае измерения проводят способом микротвердости. Поэтому многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например, поверхностного слоя цементированной, азотированной или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом определения микротвердости можно также измерять твердость отдельных составляющих в сплавах.

Следует различать два способа определения твердости вдавливанием: измерение макротвёрдости и измерение микротвердости.

Измерение макротвердости отличается тем, что в испытуемый материал вдавливается тело, проникающее на сравнительно большую глубину, зависящую от величины прилагаемой нагрузки и свойств металла. Кроме того, во многих испытаниях вдавливается тело значительных размеров, например, стальной шарик диаметром 10 мм, в результате чего в деформируемом объёме оказываются представленными все фазы и структурные составляющие сплава. Измеренная твердость в этом случае характеризует твердость всего испытуемого материала.

Выбор формы, размеров наконечника и величины нагрузки зависит от целей испытания, структуры, ожидаемых свойств, состояния поверхности и размеров испытуемого образца. Если металл имеет гетерогенную структуру с крупными выделениями отдельных структурных составляющих, различных по свойствам (например, серый чугун, цветные подшипниковые сплавы), то для испытания твердости следует выбирать шарик большого диаметра. Если же металл имеет сравнительно мелкую и однородную структуру, то малые по объёму участки испы-

туемого металла могут быть достаточно характерными для оценки его твёрдости. В этих случаях испытания можно проводить вдавливанием тела меньшего размера, например, алмазного конуса или пирамиды, и на меньшую глубину, следовательно, при небольшой нагрузке.

При испытании металлов с высокой твердостью, например, закаленной или низкоотпущенной стали, приведенное условие является даже обязательным, поскольку вдавливание стального шарика или алмаза с большой нагрузкой может вызвать деформацию шарика или скалывание алмаза.

Однако значительное снижение нагрузки нежелательно, так как это приведет к резкому уменьшению деформируемого объема и может дать значения, не характерные для основной массы металла. Поэтому величины нагрузок и размеры получаемых в материалах отпечатков не должны быть меньше некоторых определенных пределов.

Измерение микротвёрдости имеет целью определить твёрдость отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава (а не «усредненную» твёрдость, как при измерении макротвёрдости). В данном случае объем, деформируемый вдавливанием, должен быть меньше объема (площади) измеряемого зерна.

Поэтому прилагаемая нагрузка выбирается небольшой. Кроме того, микротвёрдость измеряют для характеристики свойств очень малых по размерам деталей.

Значительное влияние на результаты испытаний твёрдости оказывает состояние поверхности измеряемого материала. Если поверхность неровная (криволинейная или с выступами), то отдельные участки в различной степени участвуют в сопротивлении вдавливанию и деформации, что приводит к ошибкам в измерении. Чем меньше нагрузка для вдавливания, тем более тщательно должна быть подготовлена поверхность. Она должна представлять шлифованную горизонтальную площадку, а для измерения микротвёрдости — полированную.

Измеряемая поверхность должна быть установлена горизонтально, т. е. перпендикулярно действию вдавливаемого тела. Противоположная сторона образца также должна быть зачищена и не иметь окалины, так как последняя при нагружении образца сминается, что искажает результаты измерения.

1.2 Метод измерения твёрдости вдавливанием шарика (твёрдость по Бринеллю)

Этот способ универсальный и используется для определения твердости практически всех материалов.

В материал вдавливается стальной шарик, и значения твердости определяют по величине поверхности отпечатка, оставляемого шариком. Шарик вдавливают с помощью пресса.

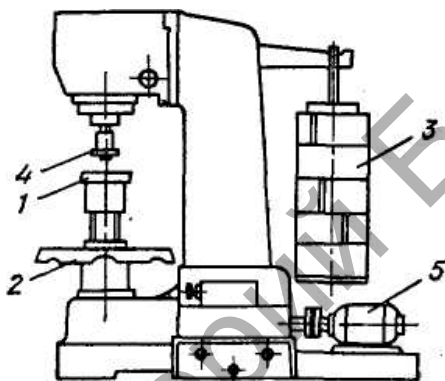


Рисунок 2.2 — Схема прибора для получения твердости вдавливанием шарика (измерение по Бринеллю)

Испытуемый образец устанавливают на столешке 1 в нижней части неподвижной станины пресса зашлифованной поверхностью кверху (рис. 2.2). Поворотом вручную маховика 2 по часовой стрелке столешку поднимают так, чтобы шарик 4 мог вдавиться в испытуемую поверхность. В прессах с электродвигателем вращают маховик до упора и нажатием кнопки включают двигатель 5. Последний перемещает коромысло и постепенно вдавливают шарик под действием нагрузки, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом 3. Эта нагрузка действует в течение определенного времени, обычно 10...60 с, в зависимости от твердости измеряемого материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно, перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического выключения двигателя, поворачивая

маховик против часовой стрелки, опускают столик прибора и затем снимают образец.

В образце остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка и измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм (при вдавливании шарика диаметром 10 и 5 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю из полученных величин).

Измерение твердости вдавливанием стального шарика не является универсальным способом. Этот способ не позволяет:

- а) испытывать материалы с твердостью более 450 НВ;
- б) измерять твердость тонкого поверхностного слоя (толщиной менее 1...2 мм), так как стальной шарик продавливает этот слой и проникает на большую глубину. Толщина измеряемого слоя (или образца) должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка.

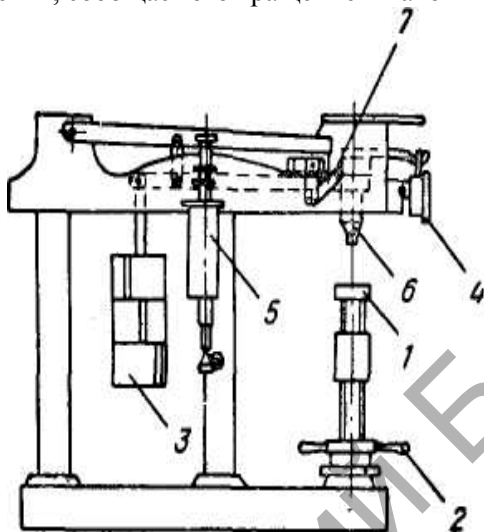
1.3 Метод измерения твердости вдавливанием конуса или шарика (твердость по Роквеллу)

Принципиальное отличие данного способа от рассмотренного выше измерения по Бринеллю состоит в том, что твердость определяют по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании алмазного конуса или стального шарика, а не по площади отпечатка.

Этот метод имеет то преимущество перед измерениями по Бринеллю, что позволяет изменять нагрузку в широких пределах без изменения значений твердости, так как при вдавливании конуса сохраняется закон подобия, а условия деформации под вершиной конуса с увеличением давления не изменяются.

Твердость измеряют на приборе (рис. 2.3), в нижней части неподвижной станины которого установлен столик 1. В верхней части станины укреплены индикатор 4, масляный регулятор 5 и шток 6, в котором устанавливается наконечник с алмазным конусом, имеющим угол в вершине 120°, или со стальным шариком диаметром 1,59 мм. Индикатор 4 представляет собой циферблат, на котором нанесены две шкалы (черная и красная), имеются две стрелки — большая (указатель твердости), вра-

щающаяся по шкале, и маленькая (для контроля величины предварительного нагружения, сообщаемого вращением маховика 2).



1 — столик для установки образца; 2 — маховик; 3 — груз; 4 — шкала-индикатор; 5 — масляный регулятор; 6 — шток с алмазным конусом (шариком); 7 — рукоятка

Рисунок 2.3 — Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (измерение по Роквеллу)

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка ($10 \text{ кг} \cdot \text{с}$) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 . В течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой.

Прибор измеряет глубину отпечатка алмазного конуса (стального шарика), точнее, разность между глубиной отпечатков, полученных от вдавливания наконечника под действием основной нагрузки и от вдавливания под предварительной нагрузкой. Числа твердости по Роквеллу возрастают с увеличением твердости материала, что позволяет сравнить числа Роквелла с числами Бринелля. Однако числа твердости по

Роквеллу можно пересчитать на числа твердости по Бринеллю с помощью специальных диаграмм и таблицы, построенных на основании многочисленных экспериментальных работ. Зависимость между этими числами не имеет линейного характера.

Измерение твердости по Роквеллу требует меньше времени (30...60 с), чем по Бринеллю, причем результат измерения виден на шкале (он указан стрелкой). Кроме того, измерение твердости по Роквеллу оставляет меньший отпечаток на поверхности детали.

Твердость очень тонких слоев металла (толщиной менее 0,3 мм) с указанными нагрузками 60 и 150 кг · с измерять нельзя, так как алмазный конус проникает на глубину, превышающую толщину этих слоев, и указывает, следовательно, твердость нижележащих областей. Вместе с тем с увеличением твердости измеряемого материала глубина отпечатка уменьшается, вследствие чего понижается точность измерения (особенно для металлов с твердостью более 60 HRC).

1.4 Метод измерения твёрдости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу)

По этому способу в металл вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом в вершине 136° , а твердость характеризует площадь получаемого отпечатка. При вдавливании пирамиды соотношение между диагоналями получающегося отпечатка при изменении нагрузки остается постоянным, что позволяет в широких пределах в зависимости от целей исследования увеличивать или уменьшать нагрузку.

Испытания проводят на приборе (рис. 2.4), имеющем неподвижную станину, в нижней части которой установлен столик 1, перемещающийся по вертикали вращением маховика 2. Образец устанавливают на столике испытуемой поверхностью (перпендикулярной действующей силе) кверху и затем поднимают столик почти до соприкосновения образца с алмазной пирамидой, закрепленной в шпинделе 3. Нажатием педали пускового рычага 4 приводят в действие нагружающий механизм, который через рычаг передает давление грузов 5, предварительно поднятых на алмазную пирамиду. После этого опускают столик прибора и подводят микроскоп 6, установленный на штанге, прикрепленной к станине. С помощью микроскопа определяют длину диагонали полученного отпечатка.

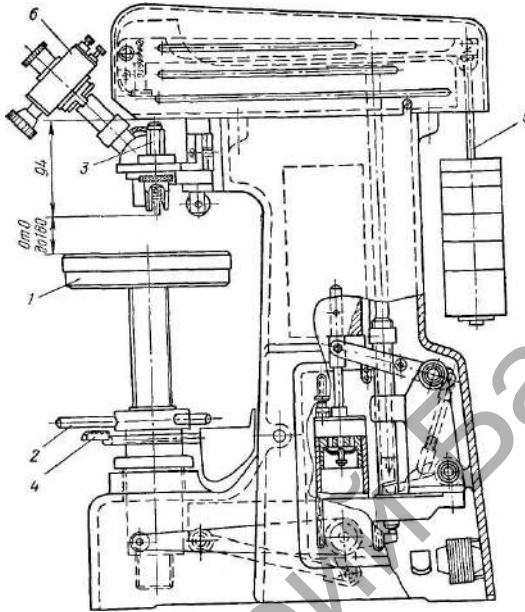


Рисунок 2.4 — Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу)

В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° .

Приведем схему измерения отпечатка, полученного вдавливанием алмазной пирамиды (рис. 2.5).

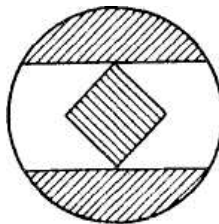


Рисунок 2.5 — Схема измерения отпечатка, полученного вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Вик-

керсу)

Поверхность образцов для определения твердости пирамидой должна быть тщательно отшлифована бумагой с мелким зерном или даже отполирована. Толщина испытуемого образца должна быть не меньше, чем 1,5 диагонали отпечатка.

Твердость по Виккерсу (HV), как и по Бринеллю, определяется как усилие, приходящееся на единицу поверхности отпечатка:

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2} \quad \text{кг} \cdot \text{с} / \text{мм}^2,$$

где P — нагрузка на пирамиду, кг · с;

α — угол между противоположными гранями пирамиды (136°);

d — среднее арифметическое длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Числа твердости по Виккерсу и по Бринеллю имеют одинаковую размерность и для материалов твердостью до 450 НВ практически совпадают. Вместе с тем измерения пирамидой дают более точные значения для металлов с высокой твердостью, чем измерения шариком или конусом. Алмазная пирамида имеет большой угол в вершине (136°), и диагональ её отпечатка примерно в семь раз больше глубины отпечатка, что повышает точность измерения отпечатка даже при проникновении пирамиды на небольшую глубину и делает этот способ особенно пригодным для определения твердости тонких или твердых сплавов.

При испытании твердых и хрупких слоев (азотированного, цианированного) около углов отпечатка иногда образуются трещины (отколы), по виду которых можно судить о хрупкости измеряемого слоя.

1.5 Метод измерения микротвёрдости

Для изучения свойств и превращений в сплавах необходимо не только знать «усредненную» твердость, представляющую твердость в результате суммарного влияния присутствующих в сплаве фаз и структурных составляющих, но и определять твердость отдельных фаз и структур сплава. Микротвердость определяют вдавливанием алмазной пирамидки.

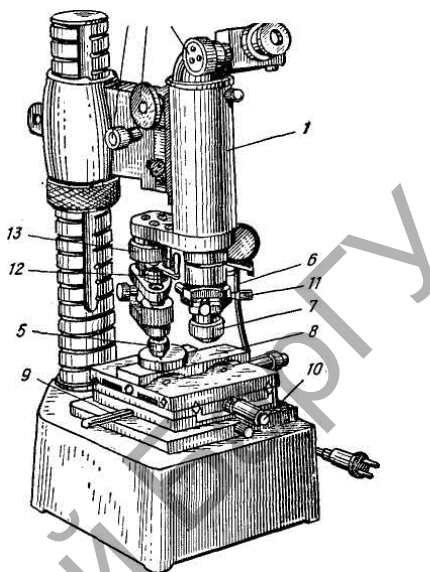
Прибор типа ПМТ-3 (рис. 2.6) имеет штатив 1 вертикального микроскопа с тубусом, перемещающимся вверх и вниз с помощью макрометрического и микрометрического винтов 2 и 3 соответственно.

Прибор снабжен двумя объективами для просмотра микрошлифа при увеличениях в 478 и 135 раз. Окуляр увеличивает в 15 раз.

Окулярный микрометр 4 имеет неподвижную сетку, остаточный микрометрический барабанчик и каретку с подвижной сеткой. На неподвижной сетке длиной 5 мм нанесены штрихи с цифрами и угольник с прямым углом, вершина которого совпадает с цифрой 0. На подвижной сетке нанесен угольник с прямым углом и две риски.

Алмазная пирамидка имеет угол между гранями при вершине 136° , т. е. такой же, как и в пирамиде для измерения по Виккерсу (что облегчает пересчет на числа Виккерса). Нагрузка для вдавливания пирамиды создается грузами 12, устанавливаемыми на штوك 5. В приборе применяют грузы от 1 до 200 г в зависимости от особенностей изучаемой структуры и задач исследования. Установленный микрошлиф просматривают через окуляр.

С помощью двух винтов столик перемещается в двух перпендикулярных направлениях, что позволяет перемещать микрошлиф и выбрать на нем участок, в котором необходимо измерить твердость. Этот участок следует разместить в середине поля зрения микроскопа — точно в вершине угла неподвижной сетки. Затем устанавливают грузы, поворачивают с помощью ручки столик 9 на 180° (от одного упора до другого) для подведения выбранного участка образца под алмазную



1 — штатив микроскопа; 2 — макрометрический винт; 3 — микрометрический винт; 4 — окулярный микрометр; 5 — шток с алмазной пирамидой; 6 — опалилломинатор; 7 — объектив; 8 — стол для установки микрошлифа; 9 — ручка стола; 10 — винт стола; 11 — регулировочные винты; 12 — грузы; 13 — ручка нагружения

Рисунок 2.6 — Схема прибора ПМТ-3 для измерения микротвердости

пирамиду. После этого медленным (в течение 10...15 с) поворотом ручки *13* приблизительно на 180° опускают шток с алмазной пирамидой так, чтобы алмаз коснулся образца. В этом положении выдерживают образец под нагрузкой 5...10 с, после чего, поворачивая ручку *13* в исходное положение, поднимают шток с алмазом. Затем поворачивают столик *8* на 180° и возвращают образец в исходное положение под объектив микроскопа для измерения диагонали отпечатка. Если прибор правильно центрирован, то изображение отпечатка окажется в поле зрения микроскопа или будет близко к вершине угла неподвижной сетки. Точность совмещения места, намеченного для испытания, с местом фактического вдавливания пирамиды составляет в этом приборе 3 мкм. Затем вращением винтов *11* подводят отпечаток к угольнику неподвижной сетки таким образом, чтобы вершина угольника совпала с левым углом отпечатка, а пунктирные линии угольника совпали с гранями левой части отпечатка. После этого вращением микрометрического барабана окуляра подводят вершину угольника подвижной сетки к противоположному углу отпечатка; тогда пунктирные линии угольника подвижной сетки совместятся с гранями правой части отпечатка. При таком положении сеток деления микрометрического барабанчика указывают длину диагонали отпечатка. Поворачивая окуляр на 90°, определяют также длину второй диагонали и вычисляют среднюю длину диагонали. Полученную среднюю длину переводят по таблице на число твердости. Указанные измерения полученного отпечатка производят не менее двух-трех раз. Числа твердости в таблице вычислены по формуле

$$HV = 1,854 \cdot P / d^2 \quad \text{кг} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$$

и представляют числа твердости по Виккерсу.

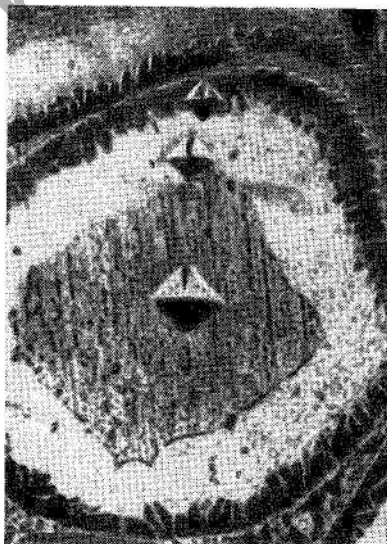


Рисунок 2.7 — Литая быстрорежущая сталь после закалки (видны отпечатки алмазной пирамиды)

Для получения более точного результата измеряют твердость изучаемого участка микрошлифа, например, одного зерна, два-три раза. Для этого необходимо, чтобы на площади одного и того же зерна разместились, по крайней мере, два отпечатка. Исходя из этого условия экспериментально подбирают величину нагрузки для исследования. Необходимо, однако, учесть, что при очень малых нагрузках (меньше 20 кг · с) могут получиться недостаточно точные результаты. Прибор позволяет фотографировать микроструктуру сплава с полученными отпечатками.

Измерения микротвердости широко применяют для изучения структуры и свойств сплавов. Покажем микроструктуру литой быстрорежущей стали после закалки (рис. 2.7). Сталь состоит из крупных зерен неоднородного строения, причем каждое зерно имеет три концентрических слоя: сердцевина зерна имеет твердость 320...350 HV (35 HRC), промежуточный слой — 700...725 HV (58 HRC) и наружный слой — 940...1 000 HV (65...67 HRC).

2 Практические задания

1. Ознакомиться с содержанием методических рекомендаций.
2. Выполнить задания:
 - измерить с помощью твердомера LTF Galileo MICROSCAN AC микротвёрдость нескольких образцов: стали, чугуна, цветных металлов и плёнок (по указанию и под руководством лаборанта);
 - подвергнуть один из образцов химико-термической обработке, каждый раз измеряя микротвёрдость его поверхности.
3. Оформить отчет в установленной форме.
4. Ответить на контрольные вопросы.

3 Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику твердости.
2. Опишите способы измерения макро- и микротвердости.
3. В чем заключается метод измерения твёрдости вдавливанием шарика (твердость по Бринеллю)?

4. В чем заключается метод измерения твёрдости вдавливанием конуса или шарика (твёрдость по Роквеллу)?

5. Охарактеризуйте метод измерения твёрдости вдавливанием алмазной пирамиды (твёрдость по Виккерсу).

Лабораторная работа 3

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Цель работы: изучить устройство и принцип работы установки ионно-плазменного азотирования, панели управления, оснастки, применяемой для обработки деталей и режимов работы.

Оборудование: установка ионно-плазменного азотирования.

ХОД РАБОТЫ

1 Краткие теоретические сведения

1.1 Устройство и работа составных частей

Установка предназначена для азотирования деталей из стали и чугуна в аномальном тлеющем разряде пульсирующего тока в целях повышения их поверхностной твердости и износостойкости.

Установка состоит из вакуумной камеры, откачной системы, шкафа управления с панелью оператора, силового трансформатора. Вакуумная камера установки дверного типа состоит из корпуса камеры и двери.

Составные части установки соединены электрическими, газовыми, вакуумными и водяными магистралями.

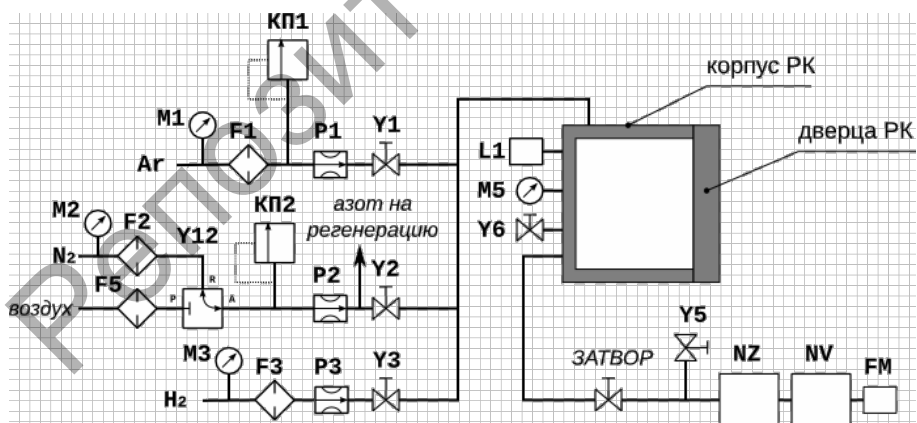
Обрабатываемые детали размещаются определённым образом на катоде камеры. Тлеющий разряд формируется между катодом камеры, которым являются обрабатываемые детали, и анодом, которым является собственно камера. После загрузки обрабатываемых деталей и закрытия двери камеры проводится ее откачка с помощью механического вакуумного насоса до начального давления 20 Па, затем выполняется включение разряда. Температура деталей регистрируется с помощью хромель-алюмелевой термопары. Температура деталей и скорость их нагрева определяются мощностью разряда, давлением и расходами рабочих газов. Управление нагревом и непосредственно насыщением на

стадии выдержки осуществляется по заданной программе с помощью панели оператора, контроль необходимых для проведения азотирования параметров и состояния энергоносителей проводится с помощью специализированного контроллера. Стенки рабочей камеры охлаждаются водой с помощью циркуляционного водяного насоса, их температура не должна превышать 45°C. Двойной теплозащитный экран минимизирует термические потери от излучения садки. Система подачи и регулирования расхода рабочих газов обеспечивает необходимый расход и состав рабочей газовой смеси в процессе азотирования.

После проведения процесса автоматически отключается разряд и прекращается подача рабочих газов в камеру. Разгерметизация камеры и её открытие могут быть проведены после остывания садки обработанных деталей до температуры ниже 200°C. После окончательного остывания обработанных деталей выполняется выгрузка и загрузка новой партии деталей.

1.1.1 Вакуумная и газовая системы установки

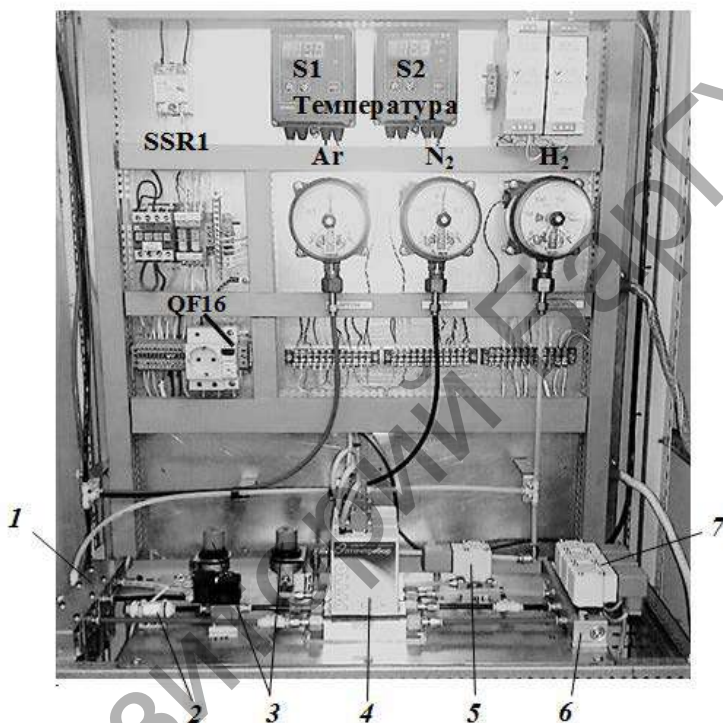
Приведем схему вакуумной и газовой магистралей установки (рис. 3.1) и отдельные компоненты газовакуумной магистрали (рис. 3.2).



CV — камера вакуумная; NV — насос вакуумный пластинчато-роторный; NZ — насос вакуумный двухроторный; FM — фильтр-маслоотделитель; L1 — датчик манометрический; F1, F2, F3 —

фильтры твёрдых частиц; $F5$ — фильтр вакуумный; $M1, M2, M3$ — манометры электроконтактные; $M5$ — вакуумметр показывающий; $P1, P2, P3$ — расходомеры; $Y1, Y2, Y3$ — клапаны вакуумные электромагнитные; $Y5, Y6, Y12$ — клапаны электромагнитные

Рисунок 3.1 — Схема вакуумной и газовой магистралей



1 — Фильтры твердых частиц ($F1(Ar), F2(N_2), F3(H_2)$); 2 — $F5$ (воздух); 3 — регуляторы давления N_2 и Ar ; 4 — регуляторы ($P1...P3$); 5 — клапан отвода азота на регенерацию системы осушки водорода; 6 — коллектор; 7 — клапаны вакуумные электромагнитные ($Y1...Y3$)

Рисунок 3.2 — Расположение компонентов газовой магистрали в шкафу управления

Управление компонентами газовой и вакуумной системы при проведении процесса осуществляется в автоматическом режиме.

Откачка камеры установки CV осуществляется с помощью откачного агрегата, в состав которого входит двухроторный насос NZ и насос пластинчато-роторный NV . Фильтр FM служит для отделения масла из выхлоп-

ных газов откачного агрегата. Откачное отверстие расположено в днище камеры. Откачной агрегат соединен с камерой вакуумной магистралью.

Откачка камеры производится после включения откачного агрегата и открытия клапана «ЗАТВОР». Контроль вакуума в камере производится с помощью датчика манометрического $L1$. Датчик $L1$ термостатирован при 45°C . Для поддержания заданного давления в камере в установке предусмотрено изменение скорости откачки, которое производится управлением скоростью вращения насоса NZ с помощью частотного преобразователя. Разрешение на включение насоса NZ поступает при достижении определённой степени разряжения в камере. Клапан $Y6$ предназначен для напуска в камеру атмосферного воздуха для разгерметизации камеры после окончания процесса. Визуальный контроль натекания атмосферного воздуха производится с помощью стрелочного манометрического датчика $M5$, расположенного под камерой. Клапан $Y5$ нормально открыт и предназначен для напуска воздуха в насос NV при его выключении.

При работе установки используется три технологических газа: азот, аргон и водород. Исполнительные механизмы газовой системы расположены в левой секции шкафа управления установки. К камере технологические газы подводятся с помощью магистрали из трубки. Технологические газы поступают на регуляторы расхода газов через газовые фильтры $F1...F3$, $F5$, обеспечивающие их очистку. Давление газов контролируется с помощью манометров $M1...M3$ и должно составлять $0,05...0,1$ МПа (см. рис. 3.1). Давление водорода задаётся генератором водорода и составляет $0,07...0,27$ МПа. Расходы технологических газов задаются и контролируются с помощью регуляторов расхода газа $P1...P3$. Подача газов в камеру осуществляется открытием клапанов $Y1...Y3$, через которые газы поступают в коллектор и газовую магистраль. Перед клапаном $Y2$ на азотной магистрали установлен тройник, с помощью которого азот подается к источнику водорода для регенерации силикагелевого патрона (см. рис. 3.2).

1.1.2 Источник водорода

В установке используется водород, получаемый путём электролиза чистой, свежеприготовленной дистиллированной воды. Основное преимущество этого метода — взрывобезопасность, так как отсутствует необходимость эксплуатации сосудов с водородом под давлением, а весь получаемый водород поступает в вакуумную систему установки.

Приведем схему источника водорода (рис. 3.3).

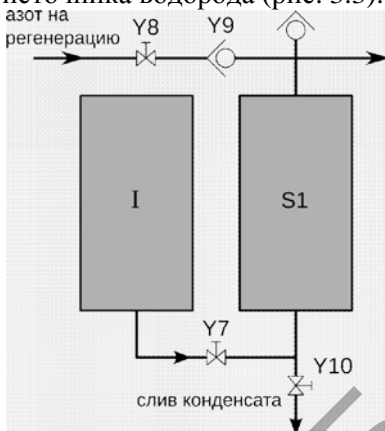


Рисунок 3.3 — Схема источника водорода

Генератор водорода и патрон силикагелевого осушителя *S1* соединены трубопроводами. Вакуумные клапаны *Y7...Y10* предназначены для коммутации и управления режимами работы источника водорода.

Источник водорода расположен в нижней части левой секции шкафа управления установки (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 — Расположение генератора водорода и системы осушки в шкафу управления

В состав источника водорода входят генератор водорода Элдис-130, блок осушки водорода и система питания и управления. Блок осушки водорода включает патрон с силикагелем *S1*.

Система питания и управления служит для нагрева и поддержания заданной температуры в патроне блока осушки водорода в процессе регенерации системы осушки. Температура контролируется по индикатору прибора *TPM1* и на панели оператора, а на измерителе — при помощи хромель-алюмелевой термопары, погруженной в специальное отверстие в верхней крышке патрона. В состав системы питания и управления также входит твердотельное реле *SSR1* (см. рис. 3.2), а также трансформатор *T1*. Включение системы питания и управления производится автоматическим выключателем *QF16* (см. рис. 3.2).

Водород получается электролизом чистой дистиллированной воды в генераторе водорода. Водород поступает в патроны силикагелевого осушителя *S1* и далее на вход фильтра *F3* (см. рис. 3.2).

По мере работы происходит насыщение осушителя водой. Поглощающая способность осушителя восстанавливается в режиме регенерации. Регенерация патрона силикагелевого осушителя производится при температуре $230 \pm 10^\circ\text{C}$ в потоке азота.

Клапаны вакуумные *Y...Y10* (см. рис. 3.3) предназначены для коммутации газовых магистралей источника водорода при проведении регенерации патрона в потоке азота и генерации водорода. В режиме генерации водорода клапаны *Y8*, *Y9* и *Y10* закрыты, а *Y7* — открыт, а в режиме регенерации патрона *S1*, наоборот, *Y7* закрыт, а *Y8*, *Y9* и *Y10* открыты.

В патроне-осушителе в качестве наполнителя использован силикагель технический.

1.1.3 Система водяного охлаждения камеры

Приведем схему системы водяного охлаждения камеры (рис. 3.5).

Камера *CV* имеет сплошную рубашку водяного охлаждения. Контур водяного охлаждения корпуса камеры и двери соединяются с помощью дюритовых шлангов.

Часть элементов системы водяного охлаждения камеры (*KO1*, *F2*, *CB*, *MN6*, *KS7*, *Y21*, *T*, *KO2*) смонтирована на отдельном каркасе (рис. 3.6), который расположен внутри основного каркаса, на котором

закреплена камера. При работе установки циркуляция воды в контуре

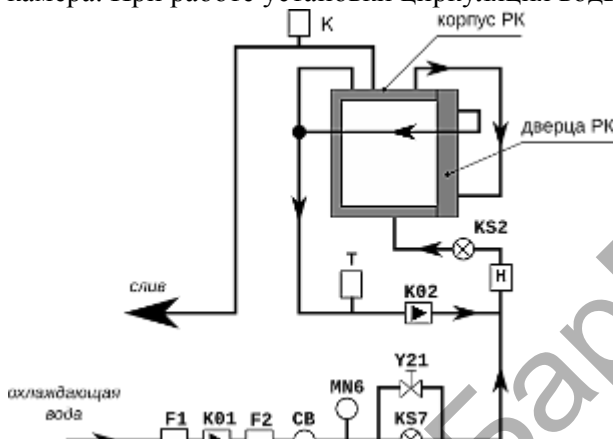


Рисунок 3.5 — Схема системы водяного охлаждения



Рисунок 3.6 — Водяная сборка под вакуумной камерой

охлаждения камеры производится насосом H , обеспечивающим проток охлаждающей воды по контуру «каркас камеры — дверь», показанному жирными стрелками. В этот контур входит датчик температуры T , предназначенный для контроля температуры воды, циркулирующей в рубашке охлаждения камеры. Контроль и регулирование температуры охлаждающей воды выполняется с помощью измерителя-регулятора $TPM1$ (см. рис. 3.2). При достижении температуры 45°C автоматически

осуществляется долив воды из внешней магистрали открытием электромагнитного клапана *У21*. Долив воды прекращается при снижении температуры камеры до 40°C. Клапан обратный *КО2* служит для обеспечения долива охлаждающей воды в направлении движения потока в охлаждающем контуре. Подача воды в магистраль водяного охлаждения осуществляется через фильтр сетчатый угловой *F1* и фильтр сетчатый угловой *F2*, предназначенные для очистки воды от твёрдых и других примесей. На входе магистрали расположен датчик давления *MN6*, предназначенный для контроля наличия давления воды в подводящей магистрали. Счетчик расхода воды *СВ* служит для контроля протока доливающейся воды. Кран шаровый *КС7* предназначен для ручного долива воды в контур охлаждения и может быть использован для охлаждения камеры при работе установки. В случае пропадания электричества или при остановке насоса *Н* кран *КС7* служит для аварийного охлаждения камеры.

Трубопровод, в состав которого входит клапан выпуска воздуха *К*, служит для развоздушивания камеры при первоначальном заполнении её водой и слива воды из камеры, когда открыт ручной шаровый кран *КС7* либо электромагнитный клапан, или они открыты вместе. Для удаления воздуха из контура охлаждения служит клапан выпуска воздуха *К*, расположенный на трубопроводе слива воды из камеры.

Клапан обратный *КО1* служит для предотвращения слива воды из вакуумной камеры в случае аварийной разгерметизации магистрали подачи воды при открытом кране *КС7*.

1.1.4 Вакуумная камера

Камера состоит из корпуса и двери (рис. 3.7). Корпус камеры выполнен с двойными стенками, образующими полость водоохлаждения. Дверца также имеет двойные стенки, которые образуют полость водоохлаждения.

Внутри камеры смонтирована экранная сборка, состоящая из каркаса, обшитого двумя стальными листами (рис. 3.8).

Внутри камеры также расположен катод диаметром 400 мм (рис. 3.9), установленный на три опоры (рис. 3.10).

Опоры собраны на трёх стальных стаканах *1, 3, 4*, между которыми размещены керамические шайбы *2*. Стаканы изготовлены таким обра-

зом, чтобы в собранном состоянии с керамическими шайбами между стаканами имел место зазор 0,8...1,0 мм.



Рисунок 3.7 — Вакуумная камера установки, установленная на раме

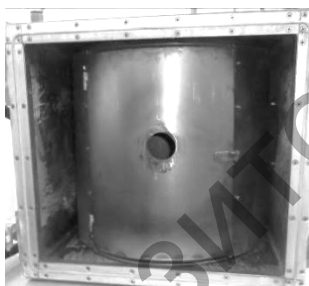


Рисунок 3.8 — Экранная сборка



Рисунок 3.9 — Расположение катода внутри экранной сборки

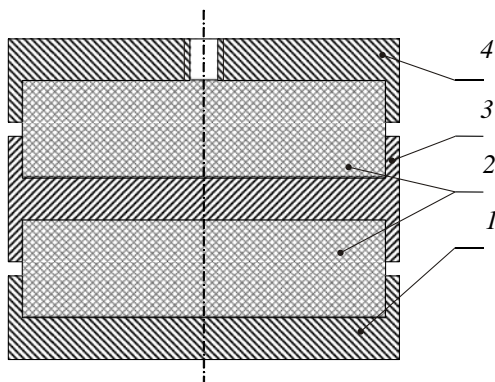


Рисунок 3.10 — Устройство опоры

1.1.5 Устройство и работа шкафа управления

Шкаф управления (далее — ШУ) предназначен для размещения электросилового и электронного оборудования установки (рис. 3.11).

В состав ШУ входят стойки I и II, соединённые боковыми сторонами. С тыльной стороны и боковых сторон шкаф закрыт съёмными панелями. На лицевой стороне шкафа расположены двери 3, 4, 5, каждая из которых оборудована ригельным запирающим устройством с замками 6, 7 и 8. На двери 5 расположены следующие устройства управления: 9 — главный выключатель установки (*QF1*), 10 — кнопка «ПУСК» (*KN1*), 11 — кнопка «СТОП» (*KN2*), 12 — 11 еключатель «НАЛАДКА» (*SW2*) с замком, 13 — кнопка «НАПУСК» (*KN3*).

На двери 4 расположена панель оператора 14. На сенсорной панели оператора размещены виртуальные кнопки управления и выведена вся необходимая информация о состоянии основных блоков и систем установки в процессе азотирования. В верхней части установки располагается сигнализация 16, предусматривающая подачу светового и звукового сигналов в случае отклонений от заданных режимов термообработки,

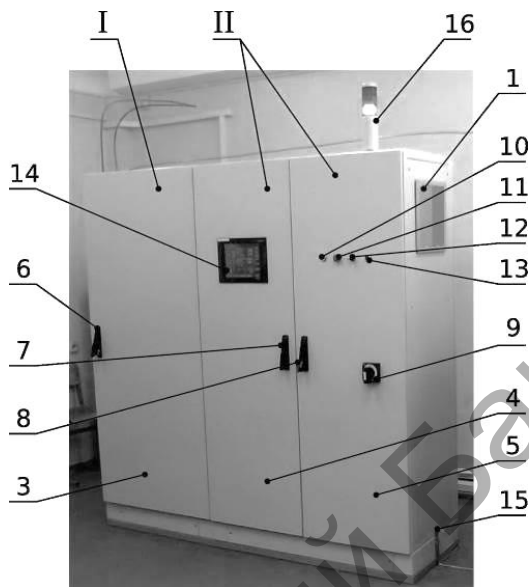


Рисунок 3.11 — Внешний вид шкафа управления неисправностей и в аварийных ситуациях. Зеленый свет сигнализирует о нормальной работе оборудования. Мигающий желтый предупреждает о неполадках и сопровождается при этом звуковым сигналом. Желтый свет также включается при ручном управлении установкой. Красный свет сигнализирует об аварийной остановке.

Представим расположение электрооборудования секции II с передней стороны (двери открыты) (рис. 3.12). Основная часть оборудования размещена на монтажной плите 1, установленной вертикально на всю высоту секции II. Монтажная плита условно разделена на зоны I...V.

В зоне V секции размещена изоляционная панель 2 для установки накопительного дросселя $L1$. Клеммная колодка XT8 используется для подключения внешних устройств установки (откачной агрегат, насос водяного охлаждения). В правом нижнем углу (позиция 5) расположено устройство управления электромагнитным клапаном затвора (УУК) откачного агрегата.

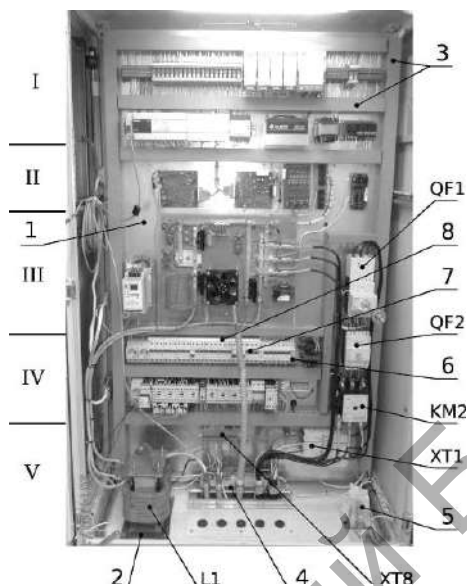


Рисунок 3.12 — Расположение электрооборудования секции II с передней стороны

1.2 Описание работы с панелью оператора Mitsubishi GT1275

1.2.1 Начало работы

После включения ШУ автоматически включается панель оператора (ПО). Для загрузки ей требуется несколько секунд. После того как на экране появится экран приветствия с логотипом ФТИ, можно начинать работу (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 — Экран приветствия

Верхнюю часть экрана занимает рамка с необходимой информацией. Эта рамка видна на любом экране ПО. На ней содержатся показания датчиков температуры, давления, тока и напряжения в камере, состояние автоматического процесса обработки, список текущих неполадок и предупреждений, текущее время (часы).

Правую часть экрана занимает рамка с навигационными клавишами. Она также видна на любом экране ПО. С ее помощью можно в любой момент перейти к «Рабочей панели», «Управлению процессом», «Истории сообщений», «Графику» изменения показаний датчиков, экрану «Отладка» (требуется пароль наладки), экрану «Дополнительно». Нажатием «Назад» можно вернуться к предыдущему просматривавшемуся экрану.

1.2.2 Рабочая панель

Нажатием кнопки «Рабочая панель» открывается панель контроля и управления датчиками на закладке «Общая информация». Датчики разделены по группам для лучшего восприятия. Каждой группе

соответствует своя вкладка (их всего четыре).

1.2.3 Общая информация

Вкладка «Общая информация» содержит всю необходимую информацию для слежения за состоянием установки (рис. 3.14). Она не содержит каких-либо рычагов управления установкой кроме кнопок «Аварийная остановка» и «Сброс аварии». Для предоставления более подробной информации о состоянии установки все датчики разбиты на группы «Подача питания», «Подача газов», «Охлаждение» и настройки автоматики «Контроль температуры» и «Контроль давления».

1.2.4 подача питания

На этой вкладке собраны все датчики и рычаги управления для формирования разряда в рабочей камере, контроля температуры садки (рис. 3.15).

Кнопка «Контроль температуры» ведёт на панель настройки алгоритма удержания температуры садки.

1.2.5 подача газов

На этой вкладке собраны все датчики и рычаги управления для формирования газовой среды в рабочей камере (рис. 3.16).

Кнопка «Контроль температуры» ведёт на панель настройки алгоритма удержания давления в рабочей камере.

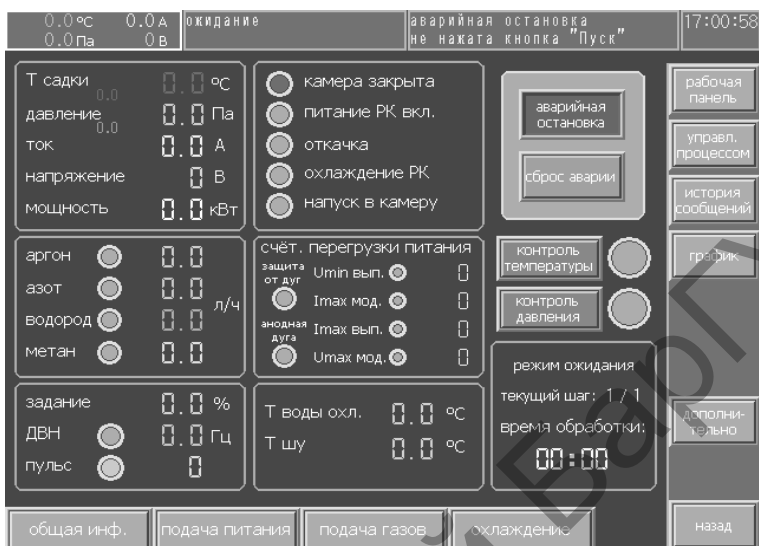


Рисунок 3.14 — Вкладка «Общая информация»

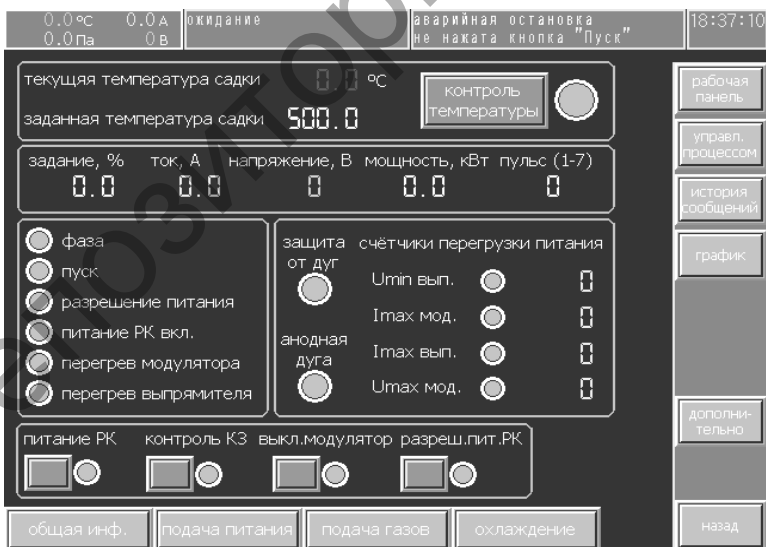


Рисунок 3.15 — Вкладка «Поддача питания»

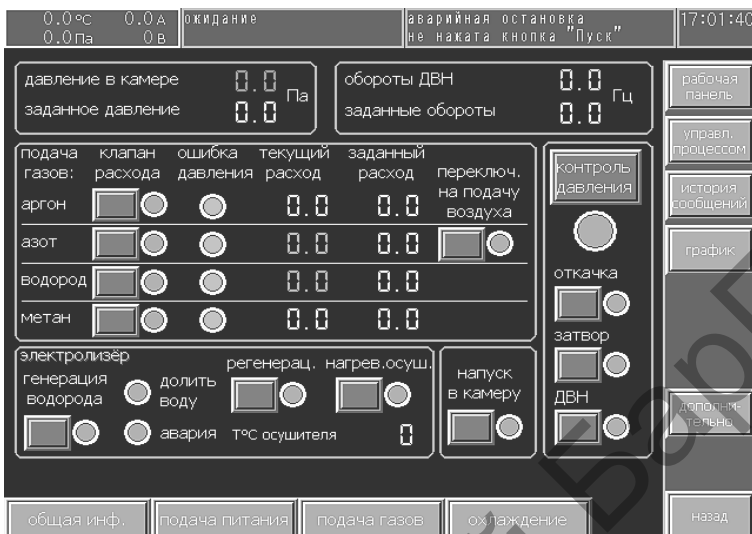


Рисунок 3.16 — Вкладка «Поддача газов»

1.2.6 Охлаждение

На этой вкладке находятся датчики и рычаги управления для контроля и поддержания термо-режима работы оборудования (рис. 3.17).

2 Практические задания

1. Ознакомиться с содержанием методических рекомендаций.
2. Ознакомиться с установкой, её составными частями.
3. Ознакомиться с панелью оператора Mitsubishi GT1275.
4. Оформить отчет в установленной форме.

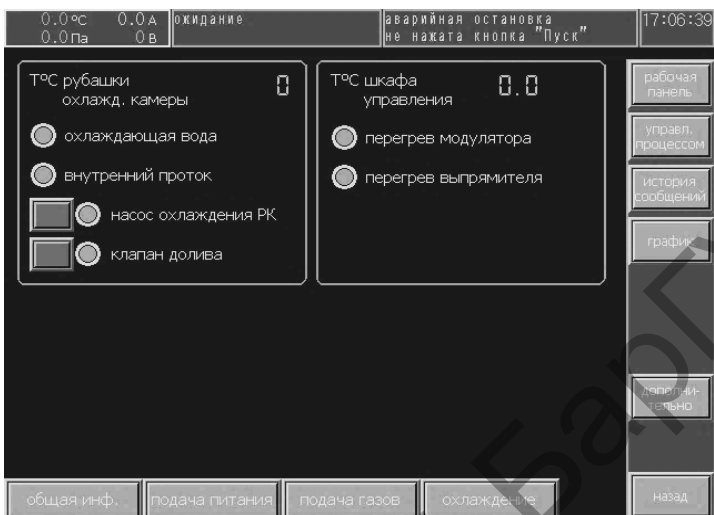


Рисунок 3.17 — Вкладка «Охлаждение»

Лабораторная работа 4

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ПРАВИЛАМИ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ НА УСТАНОВКЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Цель работы: обеспечение требований по технике безопасности при работе с высоковольтным оборудованием и сосудами под давлением, к которым относится установка ионно-плазменного азотирования.

Оборудование: установка ионно-плазменного азотирования.

ХОД РАБОТЫ

1 Краткие теоретическая сведения

1.1 Общие требования безопасности

Эксплуатация установки должна осуществляться согласно общим правилам по охране труда и производственной санитарии в соответствии со следующими документами: ТКП 181-2009 (02230) «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», ТКП 427-2012 (02230) «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок», требованиям безопасности по ГОСТ 12.3.002-75. Участок должен быть обеспечен проверенными средствами пожаротушения. Все блоки установки должны быть заземлены. Возле зажимов заземления должен быть нанесен знак заземления по ГОСТ 21130-75. На элементах защитной оболочки, закрывающих доступ к высоковольтным цепям, должен быть нанесен знак высокого напряжения по ГОСТ 12.4.026-2015. Освещение рабочей зоны должно быть выполнено в соответствии с требованиями СНиП-П-4. Цвета сигнальные и знаки безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.4.026-2015. Шумовые характеристики должны отвечать требованиям ГОСТ 12.1.003-81. Уровень звукового давления на рабочем месте оператора определяется работой насосов и не должен превышать 80 дБА. При работе на установке остаточные вредные вещества в воздух рабочей зоны при нормальной работе приточно-вытяжной вентиляции не выделяются. Степень защиты оборудования соответствует IP54 согласно ГОСТ 14254-96.

1.2 Требования к обслуживающему персоналу

К работе на установке допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие медицинскую комиссию, инструктаж по технике безопасности на рабочем месте. Обслуживающий установку персонал должен быть допущен к работе на оборудовании с электрическим напряжением до 1 000 В, к работе с сосудами под давлением и к проведению погрузочно-разгрузочных работ. Квалификация обслуживающего персонала должна быть не ниже III группы по электробезопасности.

Ремонтные и наладочные работы на установке разрешается проводить бригаде, состоящей не менее чем из двух человек, имеющих IV группу по электробезопасности, с разрешения начальника участка, обеспечивающего все организационные и технические мероприятия, гарантирующие безопасность работы согласно документации, перечисленной в пункте 1.1.

Присутствие посторонних лиц на участке запрещено. На двери участка должна быть надпись «Посторонним вход запрещён».

Работающие на оборудовании должны быть обеспечены спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

1.3 Источники опасности при работе и обслуживании установки

При эксплуатации и обслуживании установки могут возникнуть следующие виды опасности: 1) электроопасность, 2) опасность травмирования движущимися частями оборудования, 3) опасность термических ожогов, 4) опасность получения травм при проведении погрузочно-разгрузочных работ, 5) пожароопасность.

Во избежание поражения электрическим током запрещается производить любые ремонтные и наладочные работы при включенной установке, связанные с проникновением к токоведущим частям установки. При обнаружении неисправности следует отключить установку, а затем устранить неисправность.

Для осмотра оборудования ШУ необходимо отключить питание выключателем *QF1*, расположенным на правой передней стенке.

Внимание! При выключении установки выключателем *QF1* под напряжением сетевого питания остаются вводные клеммы, цепи питания реле контроля фаз и контроллера. Полное отключение установки от сети питания осуществляется снятием предохранителей в распределительном шкафу.

Источниками травм от движущихся частей оборудования установки являются вентиляторы охлаждения в ШУ, агрегат вакуумный и насос водяной циркуляционный.

Вентиляторы охлаждения размещены в ШУ и недоступны при закрытых дверях и обшивках шкафа.

Крыльчатки электродвигателей вакуумных насосов имеют защитные колпаки. Эксплуатация электродвигателей со снятыми колпаками не допускается.

Правила техники безопасности при работах с механическими вакуумными насосами, насосом водяным циркуляционным и другими агрегатами описаны в документации на эти изделия.

Источником опасности в виде термических ожогов являются горячие детали садки.

Для исключения возможности ожогов при выгрузке обработанных деталей после открытия двери камеры их следует охладить до температуры ниже 45°. При разгрузке следует пользоваться плотными перчатками из хлопчатобумажного материала.

Источником опасности в виде термических ожогов в ШУ являются мощные резисторы, радиаторы охлаждения и цилиндр в системе осушки водорода при проведении регенерации силикагеля. Доступ к резисторам, радиаторам и цилиндру осушки невозможен при закрытых дверях ШУ.

Необходимо соблюдать осторожность при работе вблизи насоса 2НВР-5ДМ, так как на поверхности работающего насоса может развиваться температура свыше 30°.

После азотирования деталей возможно проявление эффекта «приваривания» их друг с другом, а при выгрузке деталей верхнего ряда может увлекаться деталь нижнего ряда с высокой вероятностью последующего отрыва и падения. Для избегания этого в случае «приваривания» деталей следует постукиванием по верхней детали устранить её «приварку» и произвести выгрузку.

Для предотвращения возгорания в установке используются автоматические выключатели. Материалы, используемые в установке, без постороннего источника огня горения не поддерживают.

В случае возгорания следует немедленно отключить питание установки кнопкой «СТОП» и выключателем *QF1*. Для тушения возгорания следует пользоваться порошковыми или углекислотными огнетушителями. Применение пенных огнетушителей запрещается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — 3-е изд. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 648 с.
2. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, . Г. Рахштадт. — М. : Metallurgia, 1975. — 447 с.

Репозиторий БарГУ

0+

Учебное издание

ОСНОВЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО
АЗОТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Методические рекомендации
по выполнению лабораторно-практических работ

Составители:

Сергей Александрович **Саханько**, Сергей Иванович **Круликовский**,
Михаил Владимирович **Нерода**

Ответственный за выпуск С. А. Березнюк
Технический редактор А. Ю. Сидоренко
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 01.03.2018. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Отпечатано на
копировально-множительной технике. Усл. печ. л. 2,60. Уч.-изд. л. 1,90. Тираж 25 экз. Заказ 92.

Учреждение образования «Барановичский государственный университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/424 от 09.09.2016.
Ул. Войкова, 21, 21225404, г. Барановичи. Тел. 8 (0163) 45 46 28, e-mail: rio@barsu.by.