БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения

высшего образования

**«Псковский государственный университет»**

**(ПсковГУ)**

Передовая инженерная школа гибридных технологий в станкостроении

Союзного государства

**Отчеты**

**по практическим работам**

**Б1.В.03.03 «Гибридные технологии в машиностроении»**

**Направление подготовки**

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

**Выполнил Богданов Е. Д. .**

**Проверил Яцкевич О.К. .**

**Допущен к экзамену \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Минск**

**2025**

**Отчет по практической работе № 1**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОД НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ»**

**Целью работы**

1. Ознакомление с классификацией способов подготовки поверхности изделия под нанесение покрытия и технологическими процессами механической очистки поверхности.

2. Изучение технологии и оборудования струйно-абразивной (дробеструйной) обработки для подготовки поверхности под нанесение покрытия.

3. Практическое приобретение навыков определения влияния режимов дробеструйной обработки (давления, сжатого воздуха, дистанции, диаметра сопла, материала испытуемого материала) на шероховатость поверхности.

**Оборудование и материалы:**

Дробеструйная установка, набор сопловых наконечников, набор испытываемых образцов, эталонные образцы шероховатости, перчатки, очки.

**Перечислите виды работ для подготовки поверхности к нанесению покрытия в зависимости от вида загрязнения:** 1.Мойка поверхности от консервационных материалов, производственных загрязнений (масла, абразивные пасты, эмульсий, маркировки) и эксплуатационных загрязнений; **.**

2. Очистка поверхности от окалины, ржавчины, элементов окраски поверхности и т.п. .

3. Обработка, связанная с удалением с поверхности металла слоя, загрязненного элементами внедрения: водородом, азотом и д.р. **.**

**Спо­собы очистки поверхностей деталей подразделяются на** механические, физико-химические и термохимические .

**Схема и принцип работы аппарата всасывающего типа:**

1 – сопло .

2 – камера-смеситель .

3 – выходное сопло .

4 – патрубок .

5 – бункер .

1

2

3

4

5

Таблица 1 – Протокол измерения шероховатости поверхности (время обработки 0,5мин, грануляция дроби, 0,5-2,0мм.)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  об. | Режимы обработки | | | | | | | Результаты сравнения с эталоном |
| Давление, Па | | | Диаметр сопла, м | Дистанция, м | | Материал образца |
| 1 | 2х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 6,3 |
| 2 | 4х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 10 |
| 3 | 6х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 12,5 |
| 4 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 20 |
| 5 | 5х105 | | | 5х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 25 |
| 6 | 5х105 | | | 12х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 10 |
| 7 | 5х105 | | | 15х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 3,2 |
| 8 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45 | 20 |
| 9 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | Сталь 45, HRC 55 | 25 |
| 10 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,05 | | СЧ 20 | 40 |
| 11 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,15 | | Сталь 45 | 25 |
| 12 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,03 | | Сталь 45 | 20 |
| 13 | 5х105 | | | 8х10-3 | 0,15 | | Сталь 45 | 12,5 |
| 14 | 5х105 | 8х10-3 | 0,25 | Сталь 45 | | 6,3 | | |

Графики зависимости величины шероховатости от давления, диаметра сопла, дистанции напыления.

Вывод. Величина шероховатости уменьшается: с уменьшением давления; с увеличением диаметра сопла; с увеличением дистанции напыления и при напылении более пластичных материалов (менее хрупких).

Работу принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Отчет по практической работе № 2**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

**«Классификация методов получения порошковых**

**материалов и подготовка их к напылению»**

**Целью работы**

1. Ознакомление со способами, технологией и оборудованием производства порошков.

2. Изучение классификации областей применения порошковых материалов.

3. Практическое определение гранулометрического состава металлического порошка, измерение текучести этого порошка и предложения способов повышения текучести того же порошка.

**Оборудование и материалы:**

Весы лабораторные, прибор для определения текучести порошка, секундомер, порошок ПГ-12Н-01, сушильный шкаф, ситовой прибор для просеивания порошковых материалов.

**Классификация способов получения порошков:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование способа** | **Характеристика метода** | **Примеры** |
| **1** | Механический | Порошок изготавливается из исходного материала без изменения его химического состава и агрегатного состояния. Метод основан на измельчении твердых веществ в порошкообразное состояние дроблением, размолом или истиранием. | Процесс измельчения производится в шаровых, молотковых, вибрационных и вихревых мельницах. |
| **2** | Физико-механический | В основу положено изменение агрегатного состояния материала путем плавления с последующим дроблением струи расплава энергоносителем высокого давления (водой, воздухом, газом), либо механически (с помощью вращающегося диска, вибрирующей пластины, ультразвука и т.п.). В результате охлаждения диспергированного расплава образуются частицы порошка. Химический состав исходного материала при этом остается неизменным. | Центробежное разбрызгивание вращающимся диском и распыление инертным газом; Распыление жидких металлов и сплавов инертным газом под большим давлением в герметизированных устройствах. |
| **3** | Химический | Сущность химических способов получения порошков составляют химические реакции, в результате которых изменяется химический состав исходного сырья | Восстановление окислов чистых металлов или их соединений, обезуглероживание. |
| **4** | Физико-химический | Охватывает процессы, связанные одновременно с протеканием химических реакций и различными физическими явлениями. Это электролиз водных растворов и расплавленных сред, термическая диссоциация карбонилов, межкристаллитная коррозия. | механический размол спекшейся губки, полученной при восстановлении окислов металлов. |

**Принципиальная схема** установки для определения технологических свойств порошков для напыления:

1 – воронка .

2 – штатив .

3 – ёмкость .

4 – задвижка .

2

1

4

3

Таблица 1 – Результаты измерений текучести порошков

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип порошка | Грануляция, мкм | Просушенный/непросушенный | Время истечения  порошка, сек | | | Среднее значение, сек | Текучесть |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | | 5 | 6 |
| ПГ-СР4 | 320 | Просушенный | 17,2 | 17,4 | 17,8 | 17,47 | 17,68 |
|  | 120 | Просушенный | 16,2 | 16,7 | 16,3 | 16,4 | 16,6 |
|  | 63 | Просушенный | 8,8 | 9 | 8,7 | 8,83 | 8,94 |
|  | 320 | непросушенный | 22,5 | 22,1 | 22,2 | 22,27 | 22,54 |
|  | 120 | непросушенный | 20,1 | 19,9 | 19,9 | 19,97 | 20,21 |
|  | 63 | непросушенный | 15,3 | 15 | 15,1 | 15,13 | 15,31 |

Текучесть порошка определяется по формуле:

Где корректирующий коэффициент, ;

время истечения порошка, с.

Пример расчета для первой строчки таблицы:

Аналогично для остальных строчек.

Вывод. Текучесть порошка увеличивается (время истечения уменьшается) с просушкой порошка, а также с уменьшением его грануляции.

Работу принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Отчет по практической работе № 3**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

**«Определение оптимальных технологических параметров закалки деталей машин лазерным излучением»**

**Целью работы** приобретение навыков в определении параметров режима закалки лазерным излучением поверхности детали.

**Перечислите основные технологические особенности лазерного упрочнения наружных и внутренних цилиндрических поверхностей**

Эффект поверхностной закалки лазерным излучением достигается за счет скоростного (до 105 К/с) нагрева тонкого поверхностного слоя (0,3–0,6 мм) детали при воздействии на него сфокусированного лазерного луча и последующего охлаждения с такой же скоростью за счет отвода тепла в толщину металла детали.

Для каждого материала существует область оптимальных режимов лазерного упрочнения, которая зависит от его химического состава, структуры и теплофизических свойств. При закалке излучением лазера непрерывного действия сфокусированный лазерный пучок перемещается по заданной траектории с определенной скоростью. Рабочие движения пучка по поверхности детали формируются при взаимном движении оптической системы и детали.

Типовые схемы закалки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей лазерным излучением с использованием токарного станка для обеспечения необходимых перемещений представлены на рис. 2.1. Лазерный луч 1 с помощью оптической системы (комбинация фокусирующей 2 и поворотной оптики 3) направляется на упрочняемую поверхность детали 4, закрепленную в патроне 5. Оптическая система закреплена на суппорте 6 токарного станка. Рабочие движения определяются соотношением скоростей вращения патрона о, м/мин, и подачи суппорта 8, мм/об.

**Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, Технический чертеж, рисунок

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.**

**Выбрать технологические параметры лазерной закалки поверхности согласно исходным данным:**

тип поверхности наружная цилиндрическая .

материал детали Сталь У8 .

диаметр обрабатываемой поверхности 90 мм .

длина обрабатываемой поверхности 45 мм .

мощность излучения 800 Вт .

диаметр лазерного луча 45 мм .

коэффициент перекрытия 3 .

фокусное расстояние линзы 200 мм .

**Результаты расчета**

По табл. 2.3 определяем оптимальные режимы лазерного теплоупрочнения для стали У8:

Упрочнение выполняется по схеме, приведенной на рис. 2.1, а.

Тогда коэффициент поглощения лазерного излучения поверхности ; количество поворотных зеркал ; коэффициент пропускания фокусирующей линзы ; коэффициент отражения поверхности зеркала; коэффициент пропускания оптической системы

Диаметр фокусировки лазерного луча равен

Частота вращения детали равна

Расстояние от плоскости линзы до обрабатываемой поверхности равно

Подача суппорта равна

Основное время на обработку составит

Достигнутые характеристики упрочненного слоя: глубина слоя , микротвердость = 11000 Мпа.

Работу принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Отчет по практической работе № 4**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

«**Определение параметров процесса газопламенного напыления»**

**Целью работы** освоение методики определения параметров газопламенного напыления деталей машин.

**Выбрать технологические параметры процесса согласно исходным данным:**

тип поверхности наружная цилиндрическая .

материал покрытия ПГ-12Н-01 .

диаметр обрабатываемой поверхности 20 мм .

длина обрабатываемой поверхности 150 мм .

характер условий работы легкий .

толщина напыляемого слоя 1,0 мм .

дистанция напыления 100 мм .

С помощью графика, изображенного на рис. 3.1, и, учитывая дистанцию напыления , определяем величину коэффициента , 1/мм2.

Значение величины подачи горелки рассчитываем по формуле:

Частоту вращения детали определяем по формуле:

Количество рабочих ходов для напыления покрытия заданной толщины:

Рассчитываем массу порошкового материала, необходимого для напыления:

Учитывая, что скорость вращения детали равна

определяем время на выполнение операции напыления по формуле:

Определение расхода газов, необходимых для напыления, производим по формуле:

Пропан-бутана

Кислорода

Сжатого воздуха

**Результаты расчета**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка напыляемого материала | Вид поверхности | Параметры режима напыления | | | Время напыления | Расход порошка | Расход газов | | |
|  |  |  | Пропан-бутан | Кислород | Воздух |
| ПГ-12Н-01 | Цил. | 4.77 | 4.33 | 77 | 2.04 | 0.08 | 0.034 | 0.085 | 0.034 |

Работу принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Отчет по практической работе № 5**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

«**Расчет и выбор основных технологических параметров плазменного напыления»**

**Целью работы** приобретение навыков расчета и выбора параметров технологического процесса плазменного напыления покрытия.

**Выбрать технологические параметры процесса согласно исходным данным:**

тип поверхности цилиндрическая .

материал покрытия ПГ-19Н-01, подслой ПТ-НА-01 .

размер поверхности с покрытием D = 82 мм, l = 60 мм .

характер условий работы трение в масле .

допуск на изнашивание напыленного слоя 0,08 мм .

**Результаты расчета**

Учитывая условия работы детали, в качестве покрытия выбираем порошковый сплав марки ПГ-19Н-01, для нанесения подслоя - порошковый материал ПТ-НА-01.

Расчет минимальной толщины наносимого покрытия.

* Минимальная рабочая толщина покрытия:
* Минимальный припуск на последующую обработку покрытия
* Пространственные отклонения расположения напыляемой поверхности относительно базовых поверхностей детали
* Погрешность установки при сохранении пространства баз при напылении ;
* Толщина переходного слоя между основным металлом и металлом покрытия
* Пространственные отклонения расположения поверхности:

Минимальная толщина наносимого покрытия:

Максимальный припуск на последующую механическую обработку покрытия:

где величина допуска на толщину напыляемого покрытия.

Максимальная толщина покрытия:

Величина углубления на поверхности детали под покрытие:

где допуск на механическую обработку размера углубления, принимается равным 0,1 мм.

Учитывая, что , подготовку поверхности перед напылением производим методом абразивно-струйной обработки. Марка материала для абразивно-струйной обработки подготовки поверхности перед напылением – дробь ДЧК № 08. Параметры режима предварительной обработки этим методом выбираем по табл. 4.5: , . Параметры режима напыления и режима движения плазмотрона выбираем по табл. 4.6 и табл. 4.7 соответственно.

Параметры режима напыления

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Операция напыления, Марка напыляемого материала | Ток дуги | Напряжение дуги | Расход плазмообразующего газа | Дистанция напыления |
| Подслой, ПТ-НА-01 | 240 | 85-90 | 3,0 | 150 |
| Рабочий слой, ПГ-19Н-01 | 220 | 85-90 | 2,8 | 145 |

Параметры режима движения плазмотрона при напылении наружных цилиндрических поверхностей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Операция напыления | Скорость движения | Подача | Толщина покрытия за один рабочий ход |
| Подслой | 50 | 20 | 0,1 |
| Рабочий слой | 20 | 20 | 0,1 |

Минимальное число рабочих ходов плазмотрона при напылении:

Напыление подслоя

Напыление рабочего слоя

Время абразивно-струйной подготовки поверхности:

где коэффициент, учитывающий вид используемого абразивного материала, МПа/об или МПа/ход (К - 0,75 - стальная колотая дробь; К = 1,0 - электрокорунд); давление сжатого воздуха, МПа; скорость перемещения изделия, мм/с (выбирается в пределах 5-15 мм/с); площадь поверхности, мм; подача абразивно-струйного аппарата, мм/об или мм/ход (выбирается в пределах 4-10).

Время, затрачиваемое на операцию напыления подслоя:

Время, затрачиваемое на операцию напыления:

Суммарное время на выполнение всего процесса напыления:

Расход плазмообразующего газа при напылении:

Напыление подслоя:

Напыление рабочего слоя:

Работу принял \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Отчет по практической работе № 6**

**студента Богданов Е. Д. (ФИО)**

«**Разработка процесса механической обработки газотермических покрытий»**

**Целью работы:** приобретение навыков в разработке технологического процесса механической обработки газотремических покрытий.

**Выбрать технологические параметры процесса согласно исходным данным:**

тип поверхности цилиндрическая ..

материал покрытия ПР-Н77Х15С3Р2 .

твердость покрытия HRC 35-42 .

размер поверхности с покрытием D = 60 мм .

припуск на обработку 1,8 мм .

квалитет 7 .

Шероховатость Ra 0,4 мкм .

**Результаты расчета**

Используя данные табл. 1.5 (работа № 1), выбираем два возможных варианта механической обработки покрытия: первый – точение предварительное, чистовое и тонкое; второй – точение однократное, шлифование предварительное и чистовое.

Учитывая твердость обрабатываемого покрытия, по табл. 5.3 выбираем для предварительного точения резец с пластиной из, твердого сплава ВК6-ОМ. Чистовое точение целесообразно осуществлять резцами, оснащенными пластинами из ССМ марки Гексанит-Р.

Глубина резания применяется для предварительного точения равной 0,6 от припуска на обработку, т. е. 1 мм; на чистовое точение - 0,6 мм и тонкое - 0,2 мм.

Величина продольной подачи выбирается по табл. 5.3. Для предварительного точения - 0,3; чистового - 0,07 и тонкого - 0,05 мм/об.

Скорость резания для предварительного точения рассчитывается по формуле (5.3), при этом значение коэффициента выбирается по табл. 5.5:

Расчетное значение частоты вращения шпинделя станка определяется по формуле (5.4):

Ближайшее меньшее значение частоты вращения шпинделя по паспорту станка . Тогда фактическое значение скорости резания будет равно:

Скорость резания при точении резцами из ССМ выбирается по табл. 5.4. Для чистового точения , для тонкого - .

Тогда частота вращения шпинделя соответственно:

*.*

Ближайшее меньшее значение частоты вращения шпинделя по паспорту станка: ; .

Фактическое значение скорости резания для указанных операций будет равно:

Во втором варианте технологического процесса механической обработки газотермического покрытия однократное точение также осуществляется резцом с пластинами из твердого сплава марки ВК6-ОМ.

Для операций шлифования из табл. 5.6 выбираем марки шлифовального круга и параметры режимов предварительного и чистового шлифования. Для предварительного шлифования: круг марки 63С40СМ2К3, , ; для чистового – 64С16М2К2, , .

Расчетное число оборотов заготовки будет равно:

*.*

По паспорту станка ближайшее меньшее значение частоты вращения шпинделя будет равно: ; . Тогда фактическая скорость резания равна:

Сопоставление вариантов производим на основе сравнения себестоимости механической обработки. Для этого используем формулу (1.4) и данные табл. 1.2.

Вариант 1:

точение предварительное

точение чистовое

тонкое точение

Вариант 2:

точение однократное

шлифование предварительное

шлифование чистовое

Таким образом, на основе сравнения результатов расчета выбираем технологический процесс 2.

Результат выполнения работы сводим в табл. 5.7.

Результат выполнения работы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Операция | Марка режущего инструмента | Параметры режима резания | | | Себестоимость *C*, тыс. руб. |
|  | n, ми |  |
| Точение однократное | ВК6-ОМ | 37,7 | 200 | 0,3 | 9 |
| шлифование предварительное | 63С40СМ2К3 | 28,3 | 150 | 0,01 | 8 |
| шлифование чистовое | 64С16М2К2 | 24,5 | 130 | 0,005 | 8 |