

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# МЕТОДЫ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 621.9.04  
ББК 34.5  
М38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«12» января 2021 г., протокол № 8

Составитель ст. преподаватель А. Э. Липский

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Учебно-методическое издание

## МЕТОДЫ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 38 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2021

## Содержание

Введение.....	4
Меры безопасности при проведении лабораторных работ.....	5
1 Лабораторная работа № 1. Обработка инструментами с обновляющейся кромкой .....	6
2 Лабораторная работа № 2. Изучение методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей поверхностно-пластическим деформированием .....	20
3 Лабораторная работа № 3. Исследование структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях при воздействии тлеющего разряда и влияние их на повышение стойкости лезвийных инструментов .....	27
4 Лабораторная работа № 4. Исследование процесса электроэрозионной обработки деталей машин .....	36
5 Лабораторная работа № 5. Изучение конструкции и принципа работы электроэрозионного вырезного станка с числовым программным управлением .....	42
Список литературы .....	46

## **Введение**

Учебная дисциплина «Методы физико-технической обработки» предусмотрена учебным планом для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и ставит своей целью закрепление знаний и практических навыков по оптимизации процессов резания, расчету режущих инструментов и составлению технологических процессов термической или химико-термической обработки, ознакомлению студентов с современными методами физико-технической обработки материалов и технологическим оборудованием, используемым при этом.

## **Меры безопасности при проведении лабораторных работ**

- 1 На рабочем месте должно находиться все только необходимое для работы на данном станке. Все лишние предметы необходимо убрать.
- 2 Перед пуском станка необходимо опробовать работу механизмов станка вручную. При наличии обнаруженных дефектов станок не включать и принять меры по устранению неисправностей.
- 3 Обрабатываемая заготовка и режущий инструмент должны быть надежно закреплены.
- 4 При работе на сверлильных, фрезерных и других станках держать заготовку руками категорически запрещается.
- 5 Необходимо проверить исправность предохранительных ограждений, имеющихся на станке. Ограждения должны быть надежно закреплены.
- 6 Категорически запрещается снимать ограждения во время работы станка.
- 7 Проверить закрепления кулачков в патроне; нельзя допускать максимального расхождения кулачков в патроне.
- 8 Проверить обязательно, не оставлен ли ключ в патроне.
- 9 При работе на токарных станках не разрешается стоять против патрона, а при работе на шлифовальных станках – против шлифовального круга.
- 10 Трогать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается.
- 11 Перед началом работы на шлифовальных станках необходимо проверить шлифовальный круг (отсутствие или наличие трещин).
- 12 На заточных и шлифовальных станках без предохранительных кожухов работать категорически запрещается.
- 13 При работе на заточных станках обязательно пользоваться предохранительными очками.
- 14 Измерять деталь во время работы станка не разрешается.
- 15 Нельзя удалять стружку руками; следует пользоваться крючком, скребком.
- 16 Перед началом работы необходимо: убрать волосы (под головной убор), застегнуть костюм и обшлага рукавов халата.
- 17 Перед началом работы убедиться в наличии заземления и надежности крепления шины к станку.
- 18 При работе на фрезерных и зубофрезерных станках запрещается вводить руки в зону движения режущего инструмента.
- 19 Категорически запрещается пуск станка без разрешения преподавателя или лаборанта.

# 1 Лабораторная работа № 1. Обработка инструментами с обновляющейся кромкой

**Цель работы:** совершенствование практических навыков студентов в выборе схем и методов обновления режущей кромки при обработке.

## 1.1 Основные положения

Доказано, что по мере формирования площадок износа на рабочих поверхностях режущего инструмента изменяются силовые и температурные характеристики процесса обработки, которые оказывают влияние на стойкость инструмента и эксплуатационные свойства деталей. Поддержание первоначально заданных или допущение незначительных изменений геометрических параметров рабочих поверхностей режущих элементов в процессе обработки обеспечивает обновление режущей кромки. Обновление режущей кромки может быть прерывистым и непрерывным и, в свою очередь, полным или частичным. Прерывистое обновление может быть полным и частичным, а непрерывное – только частичным. Полное обновление режущей кромки происходит периодически, при этом участок режущей кромки, находящийся во взаимодействии с обрабатываемой заготовкой, полностью обновляется, заменяется на участок, не участвующий до этого в работе. При частичном обновлении (прерывистом или непрерывном) обновление режущей кромки происходит в основном на участке в области вершины режущего элемента, отвечающего за формирование окончательной точности и качества рабочей поверхности детали. Прерывистое частичное обновление целесообразнее осуществлять не во время обработки, т. к. перепад размеров на участке, на котором осуществится обновление, может выйти за пределы поля допуска на обрабатываемый размер. Непрерывное частичное обновление осуществляется равномерно или по определенному закону, определяющему скорость формирования износа на рабочих поверхностях режущего элемента. При этом следует отметить, что прерывистое частичное обновление предполагает более простую конструкцию механизмов инструмента и применяется при обработке коротких или протяженных заготовок с большим полем допуска на обрабатываемый размер и невысокими требованиями по шероховатости обработанной поверхности. Непрерывное частичное обновление применяется как при обработке коротких, так и протяженных заготовок с высокими требованиями по точности и качеству обработанной поверхности, и предполагает наличие в конструкции инструмента отдельного привода. При обработке протяженных заготовок длина режущей кромки  $l$ , м, необходимой для обработки всего участка, должна быть больше не менее чем на величину периметра контакта режущего элемента с заготовкой при условии, что скорость формирования износа на рабочих поверхностях режущего элемента (скорость изнашивания)  $V_{из}$ , м/с, равна скорости непрерывного обновления режущей кромки  $V_p$ , м/с, и определяется зависимостью

$$l = \frac{V_p \cdot L \cdot 60000}{S \cdot n},$$

где  $S$  – подача на один оборот заготовки, мм;

$n$  – частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$L$  – длина участка обработки, м.

Форма режущей кромки может быть любой. Вид режущей кромки оказывает влияние на выбор конструкции привода, обеспечивающего обновление. Наиболее оптимальной формой режущей кромки при конструировании привода для обновления является окружность, а формой режущего элемента – усеченный конус, формирование которого технологично на любом универсально-заточном станке. Обеспечение углов режущего элемента осуществляется заточкой и установкой на станке относительно системы координат станка (рисунок 1.1).

Известно, что процесс ротационного резания характеризуется большими скоростями перемещения режущей кромки и основной износ режущих элементов, имеющих режущую кромку в виде окружности, – термоусталостный. При этом скорость перемещения режущей кромки зависит от установок инструмента относительно заготовки на станке (рисунки 1.2 и 1.3). В результате мгновенного изменения температуры в каждой точке режущей кромки при прохождении выхода и входа в зону обработки, достигающего  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , происходит ее разрушение под действием повторяющихся температурных напряжений.

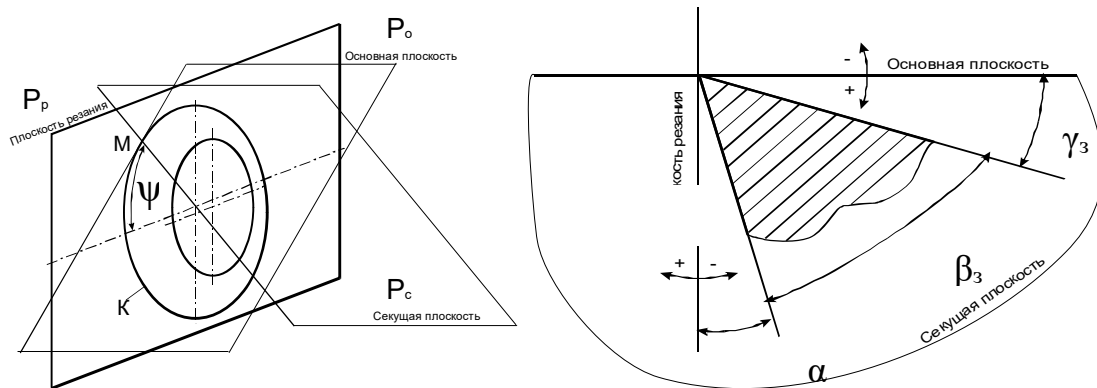
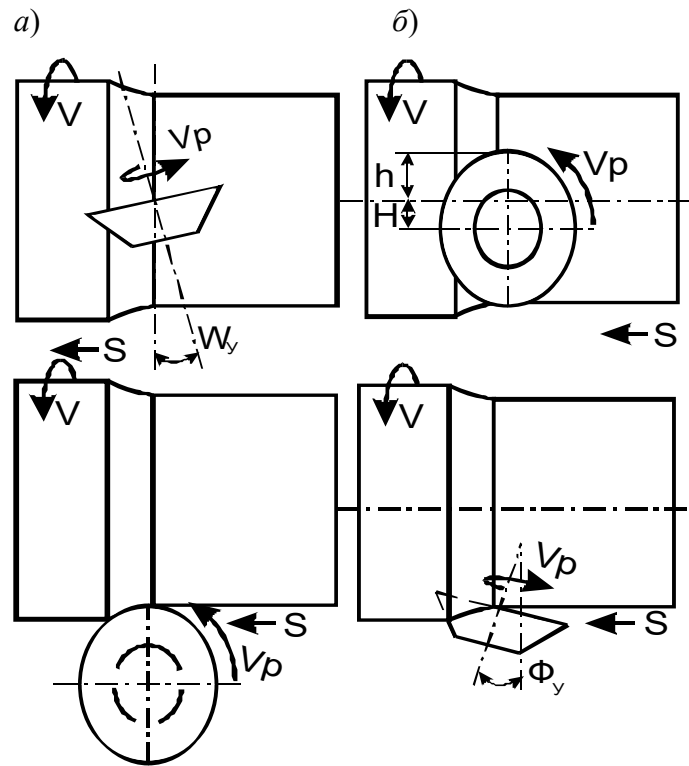


Рисунок 1.1 – Схема расположения координатных плоскостей и углов режущего элемента чашечного резца

Исключить или значительно уменьшить перепад температур на выходе и входе в зону обработки можно за счет установления оптимальной скорости перемещения режущей кромки, обеспечивающей равномерный подогрев при подходе к зоне обработки, предотвращая термоусталостное разрушение. В этом случае скорость перемещения режущей кромки  $V_p$  к зоне обработки должна быть меньше или равна скорости распространения тепла от зоны резания  $V_m$  вследствие теплопроводности. Скорость перемещения режущей кромки  $V_p$  может назначаться из технологических требований или режущих способностей режущего элемента.



*a* – первая геометрическая схема; *б* – вторая геометрическая схема

Рисунок 1.2 – Схема расположения режущего элемента в зависимости от направления вектора скорости резания

Если принять, что на передней поверхности действует источник тепла интенсивностью  $q$ , то в точке  $M$ , расположенной от источника вдоль режущей кромки на расстоянии  $x = b$ , где  $b$  – ширина среза, через время  $\tau_0$  начнет расти температура (рисунок 1.4). Тогда можно записать, что

$$x = \sqrt{2c(c+1)\omega\tau_0},$$

где  $x$  – расстояние, на которое распространяется тепло за время  $\tau_0$ ;

$\omega$  – температуропроводность; для твердых сплавов серии ВК  $\omega = 2,46 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  и для твердых сплавов серии ТК  $\omega = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

$\tau_0$  – время.

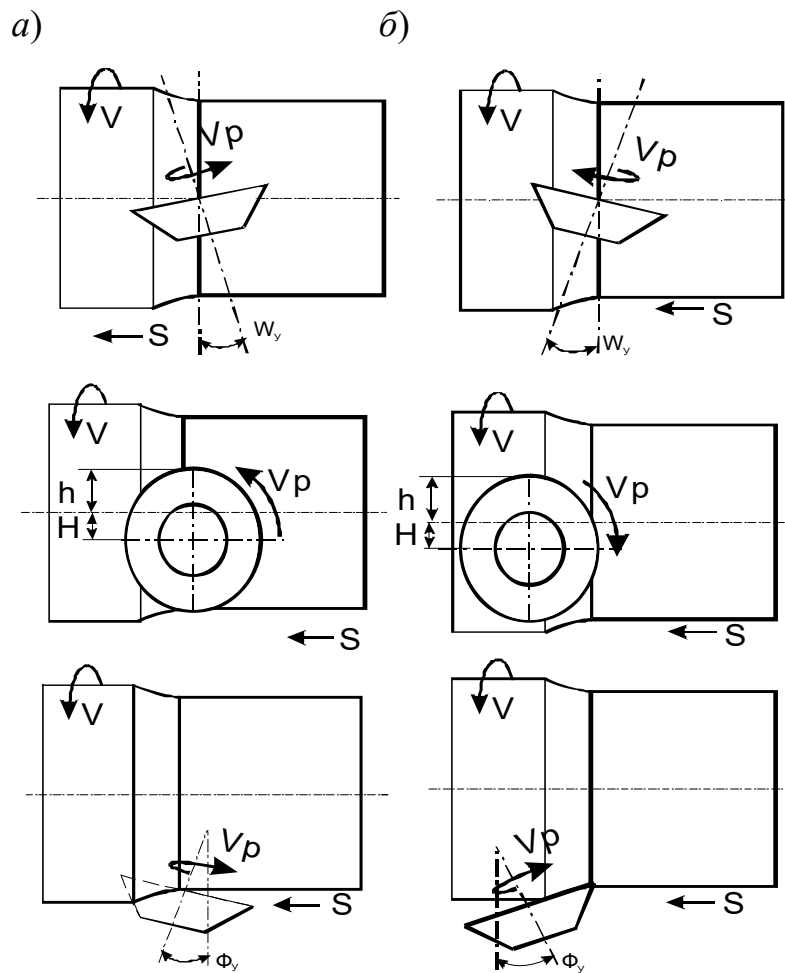
При  $c = 1,75$

$$\tau_0 = \frac{b^2}{9,625\omega}.$$

С другой стороны, точка режущей кромки  $M$  в результате своего движения за время  $\tau_0$  пройдет расстояние  $x_1$ , окажется в точке  $M_1$  на расстоянии от точки  $M$   $x_1 < x$  (см. рисунок 1.4). Тогда



$$V_p^{\max} = \frac{x_1}{\tau_0}$$



*a* – прямая схема; *б* – обратная схема

Рисунок 1.3 – Схема расположения режущего элемента в зависимости от направления вектора подачи

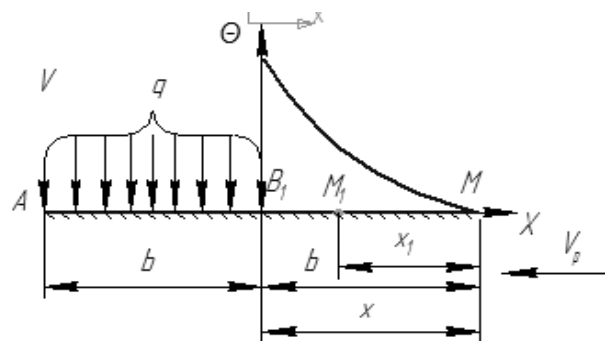


Рисунок 1.4 – Расчетная схема к определению скорости перемещения режущей кромки

Положим,  $x_1 = 0,5x$ . Тогда получим рекомендуемую скорость перемещения режущей кромки ротационного резца

$$V_p = 4,8125 \frac{\omega}{b}.$$

В этом случае скорость перемещения точки режущей кромки  $V_p$  в направлении к источнику тепла будет в 2 раза меньше, чем скорость распространения тепла от источника в результате теплопроводности, что и гарантирует подогрев режущей кромки при ее движении к зоне обработки. Во избежание термоусталостного разрушения скорость перемещения режущей кромки должна быть равна или меньше скорости распространения тепла.

Предельным является случай, когда  $x_1 = x = b$ .

$$V_p \leq V_p^{пред} = 9,625 \frac{\omega}{b}.$$

Тогда максимальная скорость обновления режущей кромки  $V_p^{\max}$  должна быть

$$V_p^{\max} = c(c+1) \frac{\omega}{b} = 4,8125 \frac{\omega}{b}.$$

В случае обновления режущей кромки с  $V_p^{\max}$  ее режущие способности после однократного прохождения зоны обработки не исчерпаны. Поэтому скорость, определенная по последней зависимости, ограничивает максимальную скорость вращения ротационного резца.

Скорость перемещения режущей кромки должна назначаться такой, чтобы при однократном прохождении точкой режущей кромки дуги контакта  $AB_1$  (рисунок 1.5) ее режущие способности полностью использовались.

Тогда можно определить величину минимальной скорости обновления режущей кромки  $V_p^{\min}$ , м/с, при непрерывном и однократном ее перемещении:

$$V_p^{\min} = \frac{60B}{1000K_{TM}T_0},$$

где  $B$  – длина дуги контакта режущей кромки с заготовкой,  $B = b + W_1$ ;

$$b = \sqrt{2rt};$$

$$W_1 = \sqrt{S^2 + \left(r - \sqrt{r^2 - S^2}\right)^2};$$

$r$  – радиус режущей кромки, мм;

$S$  – подача, мм/об;

$t$  – глубина резания, мм;

$T_0$  – период стойкости единицы длины режущей кромки чашечного резца с неподвижным лезвием (таблицы 1.6 и 1.7),

$$T_0 = \left[ \frac{C_v}{V t^{x_v} S^{y_v} \left( \frac{HB}{200} \right)^{z_v}} \right]^{1/m} ;$$

$K_{TM}$  – коэффициент увеличения периода стойкости единицы длины режущей кромки чашечного резца с обновлением режущей кромки  $K_{TM} \geq 2,5$ ,  $K_{TM} = 1,0$  для резца с неподвижным лезвием.

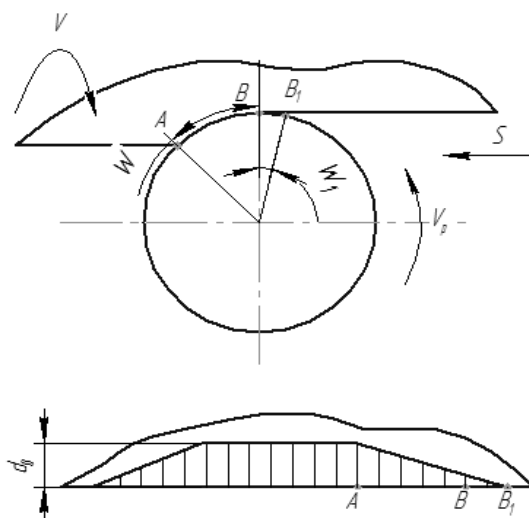


Рисунок 1.5 – Схема работы и характер износа режущей кромки чашечного резца с непрерывным обновлением

Для определения периода стойкости задаются величиной оптимального износа по задней поверхности и определяют норму износа инструмента (рисунки 1.6 и 1.7).

$$H_{н.л} = (h_{з\max} - \Delta h_3) \sin \alpha ;$$

$$\Delta h_3 = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм.}$$

В соответствии с представленным чертежом детали, видом обработки (черновая, получистовая, чистовая), методом формообразования поверхностей назначить метод обновления режущей кромки инструмента, схему установки инструмента (см. рисунки 1.2 и 1.3), при необходимости рассчитать скорость обновления режущей кромки.

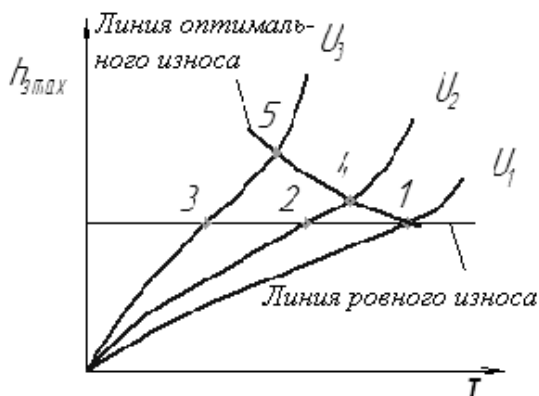


Рисунок 1.6 – Критерии равного и оптимального износа

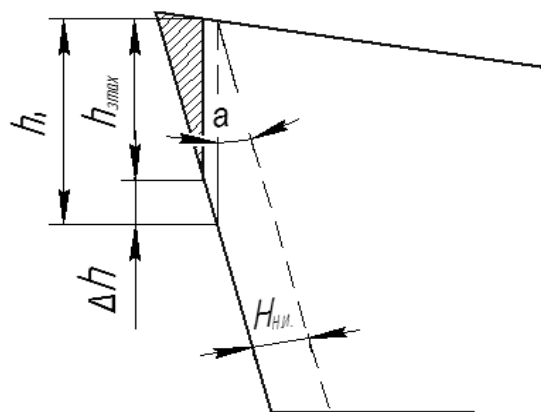


Рисунок 1.7 – Схемы определения нормы износа инструментов

## 1.2 Порядок выполнения работы

**Чертеж детали.** В соответствии со своим вариантом в отчете вычерчивается чертеж детали. Вариант задается преподавателем. Чертеж выполняется на развороте ученической тетради или отдельном листе, вклеенном в тетрадь. Механические характеристики марок стали приведены в таблице 1.2.

Предварительно каждый студент намечает план обработки детали, т. е. последовательность обработки поверхностей, и определяет необходимость черновой, чистовой и отделочной обработки для всех поверхностей, руководствуясь рекомендациями, изложенными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Точность и шероховатость поверхности при обработке с обновлением кромки

Вид обработки	$R_a$ , мкм	Квалитет
Обтачивание наружных поверхностей:		
обдирочное	12,5...6,3	12...10
черновое (однократное)	6,3...3,2	10...8
чистовое	3,2...1,6	8...7
тонкое	0,8...0,4	6
Растачивание внутренних поверхностей:		
черновое (однократное)	6,3...3,2	10...8
чистовое	3,2...1,6	8...7
тонкое (алмазное)	0,8...0,4	7...6
Фрезерование (однократное)	3,2...1,6	8...7

**Расчет режимов резания для токарных операций.** Расчет режимов резания начинается с записи всех исходных данных, которые целесообразно располагать в следующей последовательности. При наличии нескольких переходов в операции исходные данные записываются для каждого перехода:

– наименование и номер операции;

- наименование и модель станка;
- марка и свойства обрабатываемого материала ( $\sigma_s$ , HB);
- наименование и марка материала режущего инструмента;
- содержание перехода.

1 *Определение глубины резания.* При обработке поверхности за один рабочий ход глубина резания принимается равной припуску, т. е.  $t = Z$ .

При многопроходной обработке предварительно составляется схема обработки (рисунок 1.8, таблица 1.3), из которой определяется глубина резания для всех черновых (предварительных) и чистового рабочих ходов.

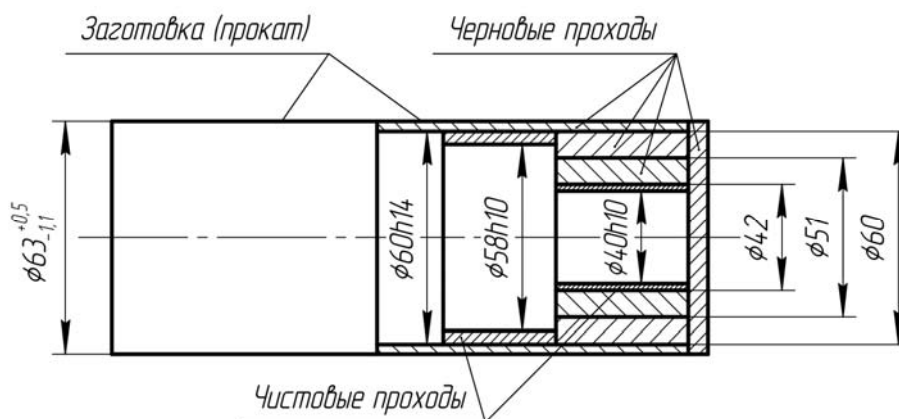


Рисунок 1.8 – Схема токарной обработки вала

После установления глубины резания для каждого рабочего хода определяется подача  $S$ .

2 *Определение подачи.* Величина подачи зависит от марки обрабатываемого материала, марки материала режущего инструмента, жесткости технологической системы, прочности пластинки твердого сплава и державки резца, вида обработки (черновое или чистовое точение).

При черновом точении подача определяется по формуле

$$S_0 = S_{табл} \cdot K_{ms}, \quad (1.1)$$

где  $S_{табл}$  – табличное значение подачи;

$K_{ms}$  – коэффициент, зависящий от свойства обрабатываемого материала.

Значения  $S_{табл}$  и  $K_{ms}$  приведены в таблицах 1.4 и 1.5.

Найденное значение  $S_0$  корректируется и окончательно принимается по паспорту станка.

3 *Пример расчета подачи* для черновой обработки поверхности диаметром 50 мм (заготовка имеет диаметр 58 мм). Марка материала детали – сталь 40X ( $\sigma_s = 980$  МПа). Материал режущей пластинки резца – твердый сплав марки Т5К10. Глубина резания  $t = 4$  мм.

По таблице 1.4 находим рекомендуемые значения подач  $S_{табл} = 0,4 \dots 0,8$  мм/об. По таблице 1.5 находим поправочный коэффициент  $K_{ms} = 1,25$ . Тогда

$$S_0 = 0,6 \cdot 1,25 = 0,75 .$$

По паспорту токарно-винторезного станка 16К20 принимаем ближайшую, меньшую подачу  $S_0 = 0,7$  мм/об.

Для чистовой токарной обработки подачи принимаются по таблице 1.8 в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности и радиуса при вершине резца. Поправочный коэффициент  $K_{ms}$  определяется по таблице 1.9.

4 *Расчёт скорости резания.* При расчёте скорости в качестве расчётного диаметра принимается наибольший диаметр заготовки. Скорость резания рассчитывается по формуле

$$V_p = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 , \quad (1.2)$$

где  $V_{табл}$  – табличное значение скорости, м/с;

$K_1$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;

$K_2$  – коэффициент, зависящий от стойкости и марки твёрдого сплава;

$K_3$  – коэффициент, зависящий от вида обработки.

Значения  $V_{табл}$  и коэффициента  $K_1$  приведены в таблицах 1.10 и 1.11. Коэффициенты  $K_2$  и  $K_3$  в лабораторных условиях принимаются равными 1,0 при наружном точении. При растачивании отверстий  $K_2 = 1$ ,  $K_3 = 0,85$ . По расчетному значению скорости  $V_p$ , м/с, определяется расчетная частота вращения шпинделя  $n_p$ , мин<sup>-1</sup>, по формуле

$$n_p = \frac{60000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} , \quad (1.3)$$

где  $D$  – наибольший диаметр заготовки, мм.

Действительная частота вращения шпинделя  $n_d$  принимается по паспорту станка, по которому рассчитывается действительная скорость резания

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{60000} . \quad (1.4)$$

5 *Пример расчёта скорости резания.* В примере расчёта подачи (см. пункт 3) была определена подача  $S_0 = 0,7$  мм/об при обработке заготовки диаметром 58 мм из стали 40Х ( $\sigma_s = 980$  МПа,  $HВ_{max} = 217$ ). Глубина резания  $t = 4$  мм. По таблице 1.10 находим значение скорости  $V_{табл} = 1,58$  м/с, при этом поправочный коэффициент  $K_1 = 0,9$  (см. таблицу 1.11). Тогда вычисляем расчётное значение скорости

$$V_p = 1,58 \cdot 0,9 = 1,42 .$$

Расчетная частота вращения шпинделя

$$n_p = \frac{60000 \cdot 1,42}{3,14 \cdot 58} = 468 .$$

По паспорту станка 16К20 принимаем действительную частоту вращения шпинделя  $n_{\partial} = 400 \text{ мин}^{-1}$ . Тогда действительная скорость резания

$$V_{\partial} = \frac{3,14 \cdot 58 \cdot 400}{60000} = 1,21.$$

Таблица 1.2 – Механические свойства конструкционных углеродистых и легированных сталей

Марка стали	$\sigma_s$ , МПа	НВ <sub>max</sub>
18ХГТ	980	217
50Г	647	229
45	600	229
12ХНЗЛ	932	217
40Х	980	217
15ХМ	441	179
15ХГФ	912	207
30	490	179
30ХМА	932	229
12ХН2	784	207
35	530	207
38ХГН	784	229
35ХМ	932	241
25ХГМ	1176	207
45 Г	618	229
38ХА	932	207
30Г2	588	207
25ХГТ	1275	217
40ХС	1226	255
40ХФА	К83	241

Таблица 1.3 – Сортамент круглого горячекатаного проката (ГОСТ 2590–71)

Диаметр, мм	Допуск, мм
30...48 (через 1 мм)	+0,4 -0,7
50	+0,4 -1,0
52	
53	
54	
55	
56	
58	
60	+0,5 -1,1
62	
63	
65	
67	
68	
70	
72	
75	+0,5 -1,3
78	
80	
82	
85	
90	+0,6 -1,7
95	
100	
105	
110	
115	+0,6 -1,7
120	

Таблица 1.4 – Подачи при черновом наружном точении стали резцами с пластинами из твердого сплава

Диаметр детали, мм	Подача $S_{табл}$ , мм/об, при глубине резания $t$ , мм		
	до 3	св. 3 до 5	св. 5 до 8
До 20	0,3...0,4	–	–
Св. 20 до 40	0,4...0,5	0,3...0,4	–
Св. 40 до 60	0,5...0,9	0,4...0,8	0,3...0,7
Св. 60 до 100	0,6...1,2	0,5...1,1	0,5...0,9
Св. 100 до 400	0,8...1,3	0,7...1,2	0,6...1,0



Таблица 1.5 – Поправочный коэффициент  $K_{ms}$  при черновом точении стали

Прочность детали $\sigma_{sp}$ , МПа	500...600	601...700	701...900	901...1100
$K_{ms}$	0,9	1,0	1,15	1,25

Таблица 1.6 – Значения коэффициента  $C_v$  показателей степени  $x_v$ ,  $y_v$  и  $z_v$  уравнения скорости резания при точении

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Подача $S$ , мм/об	$C_v$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	
						HB < 130	HB > 130
<i>Без применения охлаждающей жидкости</i>							
Сталь	Быстрорежущая сталь	$\leq 0,25$	52,5	0,25	0,50	1	1,75
		$> 0,25$	42	0,25	0,66	1	1,75
	Твердый сплав Т15К6	$\leq 0,3$	242	0,18	0,2	1	1,75
0,3...0,75		267	0,18	0,35	1	1,75	
$> 0,75$		259	0,18	0,45	1	1,75	
Чугун	Быстрорежущая сталь	$\leq 0,25$	34,2	0,15	0,3	1,5	2
		$> 0,25$	32,6	0,15	0,4	1,5	4
	Твердый сплав ВК8	$\leq 0,4$	166	0,13	0,2	1,5	2,2
$> 0,4$		147	0,2	0,4	1,5	3	
<i>С применением охлаждающей жидкости</i>							
Сталь	Быстрорежущая сталь	$\leq 0,25$	96,2	0,25	0,33	1	1,75
		$> 0,25$	60,8	0,25	0,66	1	1,75
	Твердый сплав Т15К6	$\leq 0,3$	257	0,18	0,2	1	1,75
		0,3...0,75	294	0,18	0,35	1	1,75
		$> 0,75$	285	0,18	0,45	1	1,75

Таблица 1.7 – Значения показателя степени стойкости  $m$  уравнения скорости резания при точении

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	$m$
<i>Без применения охлаждающей жидкости</i>		
Сталь	Быстрорежущая сталь	0,1
	Твердый сплав группы ТК	0,2
Чугун	Быстрорежущая сталь	0,15
	Твердый сплав группы ВК	0,3
<i>С применением охлаждающей жидкости</i>		
Сталь	Быстрорежущая сталь	0,15
	Твердый сплав группы ТК	0,25

Таблица 1.8 – Поддачи при чистовом точении стали резцами с пластинами из твердого сплава

Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	Радиус при вершине резца $r$ , мм					
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
	Поддача $S_{табл}$ , мм/об					
0,63	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	0,10	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23
2,50	0,14	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35
3,20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
6,30	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
12,5	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Таблица 1.9 – Поправочный коэффициент  $K_{ms}$  при чистовом точении стали

Прочность детали $\sigma_b$ , МПа	500...700	701...900	901...1100
$K_{ms}$	0,9	1,0	1,15

Таблица 1.10 – Скорость резания при точении стали резцами из твердого сплава

Глубина резания $t$ , мм	Поддача $S_o$ , мм/об	Скорость резания $V_{табл}$ , м/с, для стали 45
До 1	До 0,2	2,67
	0,3	2,5
	0,4	2,25
	0,5	2,17
	0,6	2,08
	0,8	2,0
2,5	До 0,2	2,5
	0,3	2,25
	0,4	2,08
	0,5	1,92
	0,6	1,83
	0,8	1,67
5,0	До 0,2	2,5
	0,3	2,17
	0,4	2,0
	0,5	1,83
	0,6	1,67
	0,8	1,5

Таблица 1.11 – Поправочный коэффициент  $K_1$  к скорости резания при точении

Марка стали	30, 35, 40, 45, 50			40Х, 38ХА, 40ХФА, 40ХС, 15ХМ, 35ХМ					30Г2, 45Г, 50Г		12ХН3А, 30ХМА, 12ХН2, 38ХГН, 25ХГМ, 15ХГФ			18ХГТ, 25ХГТ
Твердость НВ <sub>max</sub>	179	207	229	179	207	217	241	255	207	229	207	217	229	217
$K_1$	1,1	1,0	0,9	1,1	0,95	0,9	0,8	0,75	0,9	0,8	0,9	0,85	0,75	0,8

### ***Содержание отчета***

В состав отчета входят: эскиз или ксерокопия чертежа детали, схема установки инструмента на станке, обоснование выбранного метода обновления режущей кромки инструмента и рекомендации по скорости обновления режущей кромки.

### ***Контрольные вопросы***

1 Назовите основные методы повышения производственного ресурса имеющихся инструментальных материалов.

2 Назовите основные схемы установки режущего элемента при ротационном резании по отношению к вектору главного движения.

3 Назовите основные схемы установки режущего элемента при ротационном резании по отношению к вектору подачи.

4 Как определить углы режущего элемента чашечного резца?

5 В чем заключается обновление режущей кромки?

6 Каким бывает обновление режущей кромки ?

7 Как влияет форма режущего элемента на процесс обновления режущей кромки?

8 Назовите основные преимущества обновления режущей кромки при ее однократном использовании.

9 Что такое термоциклическое разрушение рабочих поверхностей режущего элемента и для каких видов обработки оно характерно?

10 Как исключить термоциклическое разрушение при эксплуатации режущего инструмента?

## 2 Лабораторная работа № 2. Изучение методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей поверхностно-пластическим деформированием

**Цель работы:** совершенствование практических навыков студентов в выборе методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей поверхностно-пластическим деформированием (ППД).

### 2.1 Основные положения

Методы пластического деформирования делятся на три класса:

- 1) отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, виброобработка, динамическое упрочнение, электромеханическая и комбинированная обработка различных поверхностей деталей машин);
- 2) формообразующая обработка пластическим деформированием (накатывание зубьев, шлицев, резьб, фасонных поверхностей);
- 3) отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием (калибрование наружных и внутренних поверхностей вращения и дорнование).

К первому методу относятся все методы обработки заготовок, связанные с пластическим деформированием только их поверхностного слоя и практически не изменяющие исходную точность размеров. Это накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, виброобработка, динамическое упрочнение, электромеханическая и комбинированная обработка различных поверхностей деталей машин. В работе рассматривается пластическое деформирование первого класса. Схема обработки накатыванием плоской поверхности приведена на рисунке 2.1.

Упрочнение методами ППД приводит к существенным изменениям в поверхностном слое металла: сглаживаются микронеровности и повышается прочность слоя с образованием в нём остаточных напряжений сжатия. Напряжения сжатия оказывают доминирующее влияние на повышение выносливости, они сдвигают критические напряжения в область более высоких значений, а также замедляют процесс зарождения и развития микроповреждений, снижают чувствительность поверхности к локализации напряжений вблизи концентраторов.

При ППД снижается шероховатость поверхности, она характеризуется большими радиусами неровностей. Такая поверхность способствует увеличению выносливости деталей, т. к. снижается концентрация напряжений во впадинах микронеровностей. Кроме того, значительно увеличивается опорная поверхность профиля, что способствует быстрой приработке сопрягаемых деталей в подвижных соединениях и большей прочности в неподвижных посадках.

При ППД по схеме качения деформирующий элемент (ДЭ, как правило, ролик или шарик) прижимается к поверхности детали с фиксированной силой  $P$  (рисунок 2.2, а), перемещается относительно нее, совершая при этом вращение

вокруг своей оси. В зоне локального контакта ДЭ с обрабатываемой поверхностью возникает очаг пластической деформации (далее очаг деформации – ОД), который перемещается вместе с инструментом, благодаря чему поверхностный слой последовательно деформируется на глубину  $b$  (рисунок 2.2, б), равную глубине распространения ОД. Размеры ОД зависят от технологических факторов обработки – силы  $P$ , формы и размеров ДЭ, подачи, твердости обрабатываемого материала и др.

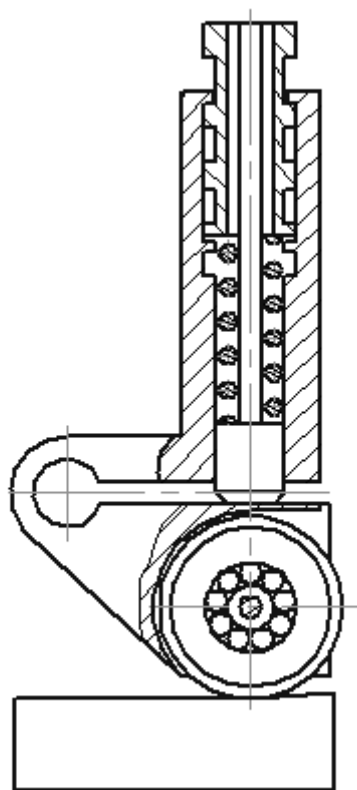


Рисунок 2.1 – Схема обработки плоской поверхности накатыванием

В соответствии с ГОСТ 18296–72 поверхностное пластическое деформирование при качении инструмента по поверхности деформируемого материала называется накатыванием. В свою очередь, накатывание подразделяется на обкатывание и раскатывание в зависимости от того, какие поверхности обрабатываются: выпуклые (валы, галтели), плоские или вогнутые (например, отверстия).

Достоинством накатывания является снижение сил трения между инструментом и обрабатываемым материалом.

К методам ППД, в которых ДЭ работают по схеме скольжения, относятся выглаживание и дорнование. Для этих процессов ДЭ должны изготавливаться из материалов, имеющих высокую твердость (алмаз, твердый сплав и т. п.) и несклонных к адгезионному схватыванию с обрабатываемым материалом.

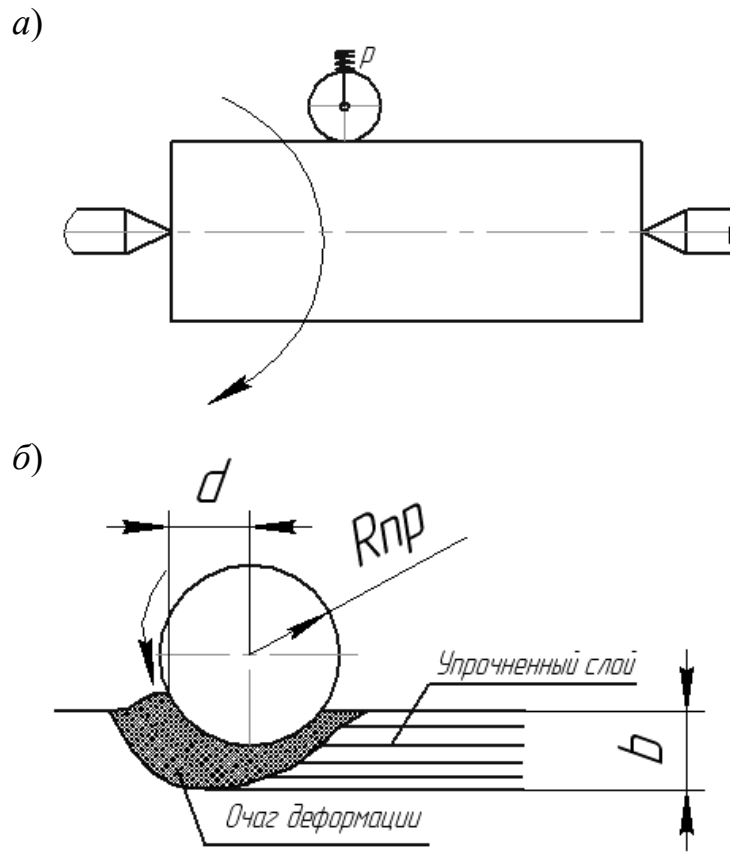


Рисунок 2.2 – Схема обработки детали по схеме качения

### Сущность упрочнения пластическим деформированием

Поликристаллические твердые тела состоят из большого числа зерен (кристаллов), разделенных между собой границами. Каждое зерно содержит дефекты. Зерна имеют различную ориентировку (рисунок 2.3).

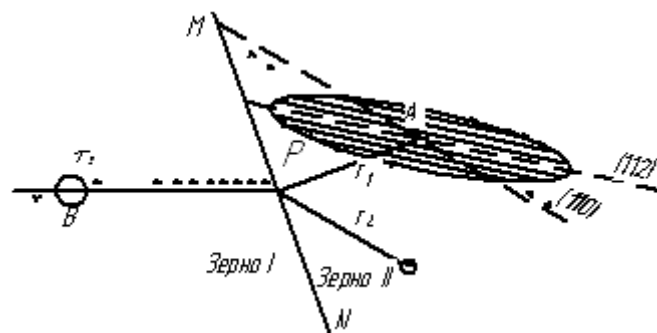


Рисунок 2.3 – Схема инициирования скольжения (или двойникования) в соседнем зерне поликристалла в некоторой точке  $A$ , удаленной от вершины плоского нагромождения дислокаций  $p$  на расстояние  $r_1$

При приложении внешнего напряжения к металлу пластическая деформация в первую очередь произойдет в зерне, наиболее благоприятно ориентированном к внешнему напряжению (т. е. с наибольшим касательным

напряжением). С ростом внешнего напряжения наблюдается постепенное вовлечение остальных зерен в процессе пластической деформации при сохранении сплошности зерна. На рисунке показана схема передачи пластической деформации от зерна к зерну. Под действием внешнего сдвигающего напряжения  $\tau_s$  дислокации, генерируемые активным источником  $B$ , приходят к границе зерна и задерживаются около нее. По мере накопления дислокаций у точки  $P$  растет напряжение. Однако этого недостаточно, чтобы перейти из одного зерна в другое через границу  $MN$ . Поэтому распространение скольжения от одного зерна к другому осуществляется за счет того, что при достижении определенного значения напряжения в точке  $P$  возбуждается источник дислокации в соседнем зерне, например в точке  $A$ .

Движение дислокаций, генерируемых источником  $A$ , будет происходить по наиболее благоприятно ориентированной плоскости скольжения.

Рассмотренный механизм торможения дислокаций у границ зерна называется барьерным упрочнением.

Упрочнение более интенсивно происходит на границах зерен; мелкое зерно упрочняется интенсивнее крупного.

Напряжение текучести  $\tau_T$  в зерне диаметром  $d$ , в соответствии с соотношениями Холла-Петча, зависит от составляющих:

$$\tau_T = \tau_0 + kd^{0,5} ,$$

где  $\tau_0$  – напряжение как результат сопротивления движению дислокаций в теле зерна, не зависящего от размера зерна (внутреннее трение);

$k$  – константа, характеризующая трудность эстафетной передачи пластической деформации от зерна к зерну.

Напряжение текучести  $\tau_T$  (сопротивление деформации) возрастает с уменьшением размера зерна не из-за наличия границы самой по себе, а из-за взаимодействия между зернами, разделенными этой границей.

Если дислокация надежно задерживается границей и возможности эстафетной передачи деформации ограничены, то деформация локализуется в микрообъемах, а напряжение текучести возрастает.

Существенная локализация деформаций повышает концентрацию напряжений, что приводит к преждевременному разрушению, т. е. снижению пластичности.

Наряду с величиной зерна на деформационное упрочнение металлов большое влияние оказывают количество и размер внутризеренных блоков (ячеек). С повышением степени деформации и роста плотности дислокаций происходит дробление зерна на блоки по плоскостям скопления дислокаций.

Наряду с дроблением зерна на блоки происходит разориентация блоков по границам на некоторый угол  $\Theta$ . При  $\Theta = 2,5...5^\circ$  граница блоков оказывает сопротивление движению дислокаций.

По типу сопротивления дислокаций «леса», если  $\Theta = 2 \dots 5^\circ$ , то границы блоков становятся местом скопления дислокаций, повышающими деформирующее напряжение.

*Расчет глубины деформационного упрочнения поверхностного слоя.* Упрочненный слой – это слой, параметры состояния которого отличаются от параметров основного материала. Однако граница раздела упрочненного и основного материала сильно размыта из-за того, что контролируемый параметр изменяется вблизи этой границы с весьма малым градиентом. Поэтому толщина упрочненного слоя определяется всегда с погрешностью, величина которой зависит от метода измерения и присущих ему погрешностей. Совершенно ясно, что первые признаки искажения кристаллической структуры будут обнаружены физическими методами исследования на большей глубине, чем первые признаки увеличения микротвердости или искажения координатной сетки. В связи с этим понятие толщины упрочненного слоя является достаточно условным, а числовые значения, приведенные в различных источниках, могут отличаться на десятки процентов.

С позиций механики деформирования глубина упрочнения определяется границей очага деформации. Таким образом, для точного прогнозирования глубины упрочнения имеет значение адекватность теоретической модели и связанная с ней конструкция поля напряжений (деформаций).

На рисунке 2.4 показана упрощенная схема поля напряжений.

Точка  $A'$ , которая легко выявляется профилографированием очага деформации, определяет длину  $L$  передней внеконтактной поверхности волны  $BA'$ .  $A'K'D'C'$  – граница области развитых пластических деформаций, нижняя точка которой определяет толщину упрочняемого слоя  $h$ . Поля деформаций, расположенные ниже этой точки, не вызывают заметного изменения сопротивления металла пластическим деформациям. Линии  $BK'$  и  $KA'$  подходят к  $BA'$  под углом  $\pi/4$ . Из геометрических соображений имеем

$$h = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(h_b^2 + l^2)} - h_b. \quad (2.1)$$

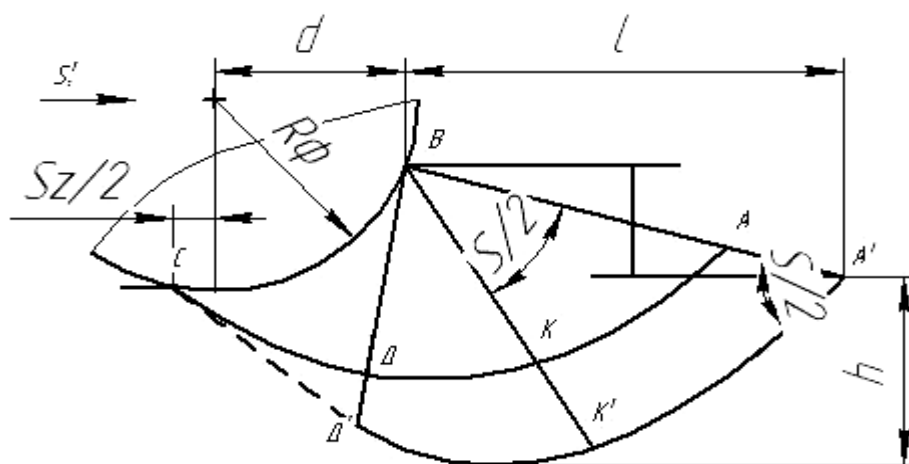


Рисунок 2.4 – Упрощенная схема поля напряжений



При наиболее часто применяемых режимах обработки  $l \gg h_b$ .

Тогда

$$h \approx 0,7l. \quad (2.2)$$

Исследованиями установлено, что

$$l = 2,1d^{0,5}. \quad (2.3)$$

Подставляя (2.3) в (2.2) получим

$$h = 1,5\sqrt{d}. \quad (2.4)$$

Расчет приближенного значения накопленной деформации поверхностного слоя

$$\Gamma = \frac{B \cdot d}{R_{np}},$$

где  $\Gamma$  – значение накопленной деформации поверхностного слоя;

$B$  – коэффициент,  $B = 4,5 \dots 5,4$ ;

$R_{np}$  – профильный радиус инструмента;

$d$  – параметр, получаемый при вдавливании инструмента в металл; связан с размером площади контакта инструмента с деталью и силой  $P_Y$ .

Определение подачи  $S_z$ :

$$d + \frac{d_1}{S_z} \geq (1,5 + 8);$$

$$d_1 = A \cdot d^B;$$

$$A = 0,39, \text{ при } 0 < d < 4 \text{ мм}; A = 0,34, \text{ при } 0 < d < 0,6 \text{ мм};$$

$$B = 0,9, \text{ при } 0 < d < 4 \text{ мм}; B = 1, \text{ при } 0 < d < 0,6 \text{ мм}.$$

Определение диаметра ролика:  $D_p = 40 \dots 100$  мм.

$D_p$  должен быть кратным диаметру детали и по возможности меньшим.

Определение силы обкатывания

$$P_Y = 1,05\sigma_n \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2l_{\max} \cdot R_p \cdot R_d}{R_p + R_l}} \left[ 1 + 0,35 \sqrt{\frac{R_p + R_d}{R_l}} \right],$$

где  $R_p$  – радиус ролика;

$R_{\partial}$  – радиус детали.

$$L_{\max} = \sqrt{R_{np}^2 - (d - S_z)^2} - \sqrt{R_{np}^2 - d^2}$$

или

$$L_{\max} = S_z \cdot d / R_{np}.$$

Напряжение на площадке контакта  $\sigma_n$ , МПа, определяется по формуле

$$\sigma_n = \frac{5,2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}};$$

степень деформации  $\sigma_s$  определяется из рисунка 2.5.

$$E = \frac{\Gamma}{\sqrt{3}},$$

где  $\Gamma$  – накопленная деформация поверхностного слоя.

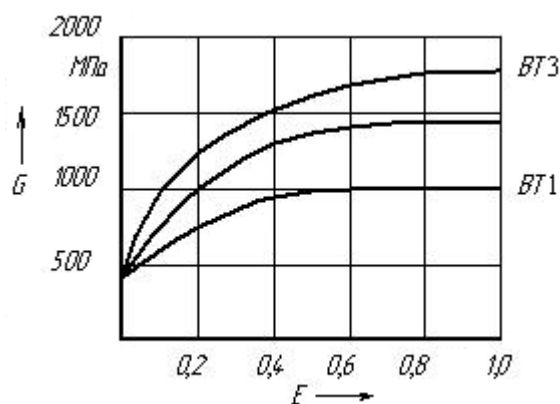


Рисунок 2.5 – Кривые упрочнения титановых сплавов

## 2.2 Порядок выполнения работы

По заданию преподавателя подобрать метод ППД и режимы упрочнения деталей с целью получения заданных характеристик: глубина упрочнения, результирующая шероховатость, наличие / отсутствие результирующего макро-рельефа: предложить тип применяемого оборудования и оснастки; рассчитать режимы упрочнения и время обработки.

Исходные данные: материал детали, твердость, эскиз детали, исходная шероховатость.

## ***Содержание отчета***

В состав отчета входят: эскиз метода ППД, режимы упрочнения деталей, схема применяемого оборудования и оснастки; расчет режимов упрочнения и времени обработки.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Перечислите основные методы ППД.
- 2 Устройство и принцип работы магнитно-динамического раскатника.
- 3 Устройство и принцип работы магнитно-центробежного раскатника.
- 4 Способы ППД поверхностей термоупрочненных деталей.

## **3 Лабораторная работа № 3. Исследование структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях при воздействии тлеющего разряда и влияние их на повышение стойкости лезвийных инструментов**

***Цель работы:*** исследование структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях твердых сплавов при воздействии тлеющего разряда и влияния их на повышение стойкости лезвийных инструментов.

### ***3.1 Оборудование, инструменты и приборы***

- 1 Установка вакуумная для модифицирующей обработки тлеющим разрядом.
- 2 Комплект пластин твердого сплава.
- 3 Станок консольно-фрезерный ВФ130.
- 4 Станок токарно-винторезный 1Д25.
- 5 Микроскоп МИМ-8м или сканирующий электронный микроскоп Tescan VEGA 2SBA.
- 6 Микротвердомер ПМТ-3 или прибор ИТ 5010 для измерения твердости по методу Виккерса.
- 7 Профилограф-профилометр 201.
- 8 Твердомер ТК-2М.
- 9 Шлифовально-полировальный станок двухшпиндельный для шлифов ПШКН-2.
- 10 Комплект многогранных неперетачиваемых пластин из твердых сплавов ВК8 и Т15К6.

### 3.2 Основные положения

Твердые сплавы относятся к наиболее важной группе инструментальных материалов, доля которых при изготовлении режущих инструментов в мировой индустрии достигла более 70 % в связи с тем, что они имеют высокую твердость (HRA 82...92), механическую прочность в сочетании с высоким сопротивлением изнашиванию в широком диапазоне режимов резания. Данные характеристики обеспечиваются наличием в структуре этих материалов карбидов, нитридов и карбонитридов тугоплавких элементов и их твердых растворов.

Применение твердых сплавов при изготовлении режущих инструментов позволяет повысить скорости резания по сравнению со скоростями резания инструментами из быстрорежущих сталей и, как следствие, повысить эффективность лезвийной обработки в целом.

Учитывая различные механизмы изнашивания инструментов, проявляющиеся при обработке резанием, для твердых сплавов важнейшими свойствами, кроме отмеченных выше, являются: однородность структуры; высокая сила сцепления по границам зерен, включая адгезию, между твердыми частицами и связующей фазой и минимальная склонность к схватыванию с обрабатываемым материалом в процессе резания.

Высокие физико-механические и, соответственно, эксплуатационные свойства инструментальных твердых сплавов, обусловленные особенностями их структурного, фазового и химического составов, с одной стороны, определяют их повышенную работоспособность и производительность при обработке резанием, а с другой стороны, обуславливают особенности разрушения инструментов, изготовленных из этих материалов.

Многочисленные экспериментальные исследования, выполненные как в нашей стране, так и за рубежом, позволили сформировать определенные представления о физической природе изнашивания режущих инструментов из различных материалов. В частности, кроме достаточно высоких силовых и тепловых нагрузок, возникающих при обработке однокарбидными твердыми сплавами, этим инструментам присущи известные виды изнашивания – абразивный, адгезионный и даже диффузионный.

Абразивное изнашивание наблюдается в результате трения твердых включений обрабатываемого материала о передние и задние поверхности режущего инструмента. Данное изнашивание характерно при обработке чугунов, в которых содержится весьма твердый цементит.

Адгезионное изнашивание является результатом действия сил адгезии, т. е. сил межмолекулярного взаимодействия химически чистых, очищенных от оксидов, свежееобразованных поверхностей стружки и заготовки при их контакте с поверхностями инструмента в процессе совместного трения.

При контакте двух трущихся поверхностей, сжимаемых силой  $P$  (рисунок 3.1), в точках фактического соприкосновения возникают связи – «мостики», которые при скольжении одной поверхности относительно другой разрываются. Вслед за ними возникают новые связи, которые затем также разрываются и т. д. При этом разрушение происходит прежде всего по менее прочному обраба-

тываемому материалу. Однако время от времени разрушается и инструментальный материал.

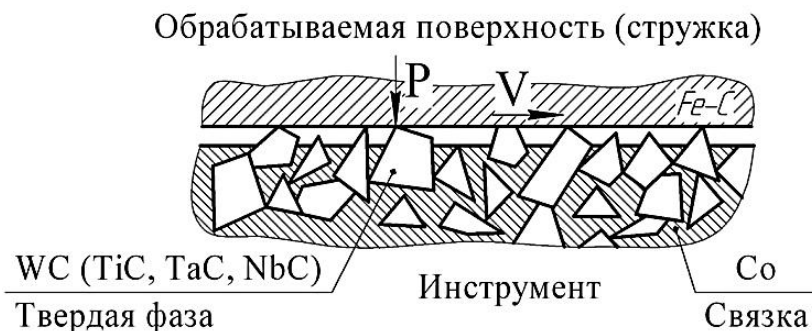


Рисунок 3.1 – Схема контакта обрабатываемой поверхности и рабочей поверхности твердосплавного инструмента

У твердых сплавов отделение частиц износа обычно происходит по границам зерен карбида вольфрама, по менее прочной кобальтовой связке, объем которой с ростом температуры резания за счет выгорания уменьшается. Характерным признаком адгезионного износа является ячеистый (в виде мелких ямок) вид изношенной поверхности инструмента (рисунок 3.2).

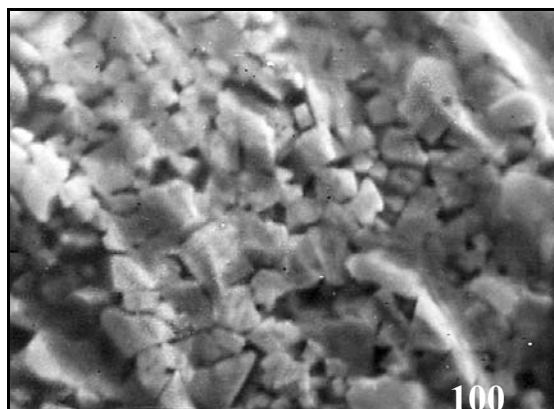


Рисунок 3.2 – Поверхность режущего инструмента из твердого сплава ВК8 при адгезионном изнашивании

С повышением температуры резания прочность адгезионных связей ослабляется, размеры отдельных частиц износа уменьшаются, а поверхность износа становится более ровной.

Диффузионное изнашивание происходит в результате взаимного переноса (диффузии) атомов контактирующих инструментального и обрабатываемого материалов. Скорость диффузионных процессов зависит от подвижности атомов, которая, в свою очередь, определяется температурой резания. Диффузия становится заметной при температуре резания свыше 800...900 °С, т. е. в области применения твердых сплавов.

При резании инструментами из однокарбидных твердых сплавов материалов на основе железа наиболее быстро диффундирует углерод, имеющий наименьший радиус атомов, и значительно медленнее кобальт и вольфрам.

В результате поверхность твердого сплава обезуглероживается. При этом в твердый сплав проникает железо, ухудшающее его структуру. Вследствие таких структурных превращений в тонких поверхностных слоях инструмента происходит охрупчивание и разупрочнение твердого сплава до такой степени, что отдельные участки этих слоев разрушаются и уносятся обрабатываемым материалом и стружкой.

Установлено, что при резании стали двухкарбидными сплавами группы ТК карбиды титана растворяются в стали медленнее, чем карбиды вольфрама. Аналогично железо быстрее диффундирует в карбид вольфрама, нежели в карбид титана. Поэтому двухкарбидные сплавы в меньшей степени подвержены диффузионному изнашиванию, чем однокарбидные.

При обработке чугунов, содержащих повышенное количество углерода, диффузия углерода из твердого сплава замедляется. К тому же температура резания при обработке чугунов значительно меньше, чем при резании сталей. Поэтому здесь однокарбидные сплавы из-за повышенной прочности карбидов вольфрама по износостойкости даже превосходят двухкарбидные.

При обработке титановых сплавов из-за химического сродства двухкарбидные сплавы дают худшие результаты по сравнению с однокарбидными.

Химическое (окислительное) изнашивание происходит за счет окисления при высоких температурах трущихся слоев благодаря высокой проникающей способности кислорода и ускоренного его соединения с химически чистыми, очищенными от оксидов, поверхностями стружки и инструмента. Образовавшиеся окисные пленки очень хрупки и поэтому легко разрушаются, оголяя нижележащие слои, которые, в свою очередь, также окисляются и подвергаются разрушению.

Окислительное изнашивание наступает обычно при температуре резания, равной 700...900 °С. У твердых сплавов наиболее быстро окисляется кобальтовая связка, при разрушении которой нарушается монолитность сплава, ослабляется связь между зернами карбидов титана и вольфрама.

Мало того, учитывая гетерогенность структуры твердых сплавов системы WC-Co, на границе раздела соприкасающиеся фазы имеют разные физико-механические свойства, особенно температурные коэффициенты линейного расширения. Следует ожидать, что гетерогенность структуры твердых сплавов будет оказывать существенное влияние на изнашивание инструмента в процессе резания, особенно при прерывистом резании, характерного для многих технологических операций и составляющего ориентировочно 40...45 % от всего объема лезвийной обработки.

Различие в значениях стойкости однокарбидных твердосплавных режущих инструментов, работающих в условиях непрерывного и прерывистого резаний, может быть объяснено такими факторами, как тепловое нагружение и разгружение режущего клина, а также циклическое воздействие механических напряжений на материал инструмента.

Изменение толщины срезаемого слоя определяет значения механических и температурных напряжений, возникающих в материале режущего клина. Практически всегда эти напряжения сохраняют свой знак на всем протяжении рабо-

чего хода. В период холостого хода механические напряжения становятся равными нулю, а температурные сохраняют свое действие и, как правило, меняют знак. После окончания холостого хода цикл повторяется.

Влияние теплового нагружения и разгружения элементов режущего клина на стойкость твердосплавного инструмента проявляется путем изменения интенсивности хрупкого разрушения режущего инструмента в виде сколов и выкрашиваний. В общем случае температурные напряжения в материале отсутствуют, если температурное поле является стационарным. При прерывистом резании всегда имеет место нестационарное температурное поле, а тепловые деформации элементов режущего клина ограничиваются гетерогенностью структуры твердых сплавов и контактом с обрабатываемой заготовкой.

С увеличением воздействия тепловой нагрузки напряжения могут достигать или превышать предел прочности при сжатии, а за период охлаждения напряжения возрастают и могут превысить предел прочности при растяжении. В этом случае следует ожидать образования трещин (рисунок 3.3) и, как следствие, потери работоспособности режущего инструмента. Таким образом, можно сделать вывод, что температура, возникающая в зоне резания, оказывает существенное влияние на состояние поверхностного слоя.

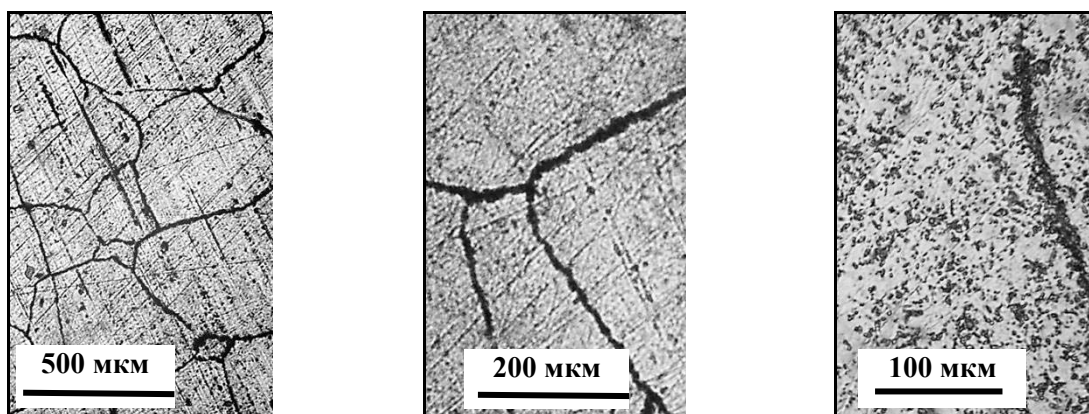


Рисунок 3.3 – Пример распространения термических трещин на поверхности образцов из твердого сплава

Повышение эксплуатационных характеристик твердосплавных инструментов является важной задачей, решение которой позволит обеспечивать рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, энергии и трудовых ресурсов. Пути повышения эксплуатационных характеристик инструмента заключаются в создании новых материалов или в улучшении качественных характеристик традиционно используемых материалов.

Успехи в развитии вакуумной техники осаждения материалов, физики плазмы, материаловедения, химии конденсированных состояний стимулировали широкое использование методов улучшения эксплуатационных характеристик инструментов.

Свойства поверхностного слоя играют определяющую роль в обеспечении надежности, работоспособности и стойкости режущих инструментов,

и в настоящее время большое внимание уделяется созданию, развитию и совершенствованию различных методов энергетического воздействия на поверхностные слои инструментальных материалов.

Все существующие методы улучшения эксплуатационных характеристик инструментов и их материалов можно разделить на две основные группы.

К первой группе можно отнести методы осаждения на рабочие поверхности износостойких покрытий из газовой фазы, ко второй – методы ввода сторонних атомов в поверхностные слои твердых тел в условиях обработки частицами различных энергий. Эти методы позволяют получать покрытия и модифицированные слои, которые служат барьерами, уменьшающими трение, износ инструмента, усилия резания и температурные деформации.

*Метод модифицирующей обработки инструмента в тлеющем разряде, применяемое оборудование и приборы.* Данный метод выгодно отличается от всех других способов, тем, что не требует наличия специально подготовленной и вводимой в рабочую камеру среды. Нет жестких требований к чистоте поверхностей модифицируемого изделия. Процесс модифицирующей обработки в тлеющем разряде сопровождается сравнительно низкими температурами на поверхности изделия, что исключает термически инициируемые превращения.

Были рассмотрены результаты модифицирующей обработки большого спектра инструментальных и конструкционных материалов. Однако результаты модифицирующей обработки твердосплавного инструмента в тлеющем разряде отсутствуют. Это обусловлено тем, что до настоящего времени из-за гетерогенности структуры не выявлена физическая картина процесса модификации твердосплавного инструмента.

Актуальность развития ресурсосберегающих технологий и возрастающий процент твердосплавного инструмента, используемого в промышленности, делают решение этой проблемы перспективной и экономически целесообразной. Более подробное описание метода модифицирующей обработки в тлеющем разряде физических процессов, лежащих в его основе, и других вопросов, связанных с ним, приведём далее.

Механизмы, приводящие к модифицирующей обработке твердосплавного инструмента в тлеющем разряде, сходны с процессами, протекающими при низкотемпературной ионной имплантации, с той лишь разницей, что в качестве источника ионов используется среда остаточных атмосферных газов.

Исследования механизмов, протекающих при ионной имплантации, позволили выявить ряд характерных особенностей.

Во-первых, имплантационная обработка приводит к образованию в приповерхностной области материала атомных смесей, состав которых не лимитируется принципами термодинамики.

Во-вторых, одновременно с ионным легированием генерируется большое количество смещенных атомов, формирующих дефекты структуры, которые сильно влияют на расположение вводимых атомов в решетку кристалла и могут вызывать перемещения атомов как на малые, так и на большие расстояния.

В-третьих, поскольку ионная имплантация является атермическим процессом, сопутствующие термоактивируемые процессы могут регулироваться тем-



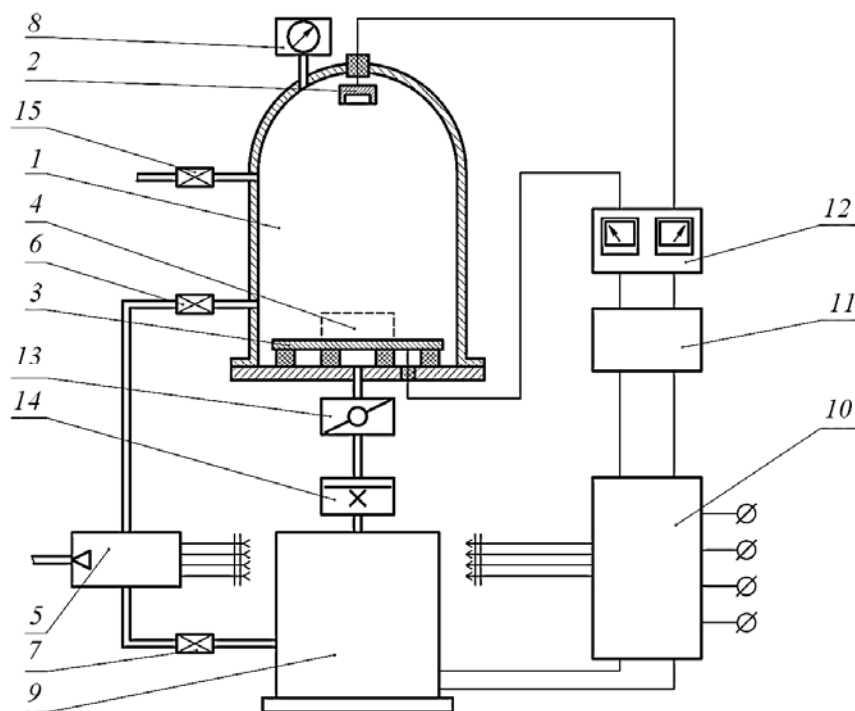
пературой мишени независимо. Это позволяет с высокой степенью контролируемости и воспроизводимости создавать в поверхностной области имплантируемого материала слои с различными свойствами.

Также было отмечено, что если обработку проводить при температуре, когда междоузельные атомы и вакансии мишени подвижны, то система стремится к термодинамическому равновесию. В этом случае выделение фаз происходит в соответствии с диаграммами состояний, а дефекты структуры отжигаются.

В режиме низких температур существенным фактором фазообразования при ионной имплантации является сходство исходной и образующейся кристаллических решеток. Низкотемпературная ионная имплантация благоприятствует фазовым переходам, но сохраняются жесткие кинетические ограничения.

В отличие от разработанного ранее, предложенный способ модифицирующей обработки твердосплавных инструментов характеризуется тем, что между столом – катодом, на котором помещают изделия, и анодом зажигают тлеющий разряд при давлении остаточных атмосферных газов  $1,3 \dots 13,3$  Па, напряжении  $1 \dots 5$  кВ и расстоянии между анодом и катодом в интервале  $0,6 \dots 0,8$  м, при плотности тока  $0,05 \dots 0,5$  А/м<sup>2</sup> в течение определенного промежутка времени посредством потока положительно заряженных частиц.

Предложенный способ также характеризуется тем, что он производится в устройстве, схема которого изображена на рисунке 3.4.



1 – камера; 2 – анод; 3 – стол (катод); 4 – изделие; 5 – форвакуумный насос; 6, 7, 15 – клапан; 8 – система измерения давления; 9 – диффузионный насос; 10 – блок питания; 11 – преобразователь высокого напряжения; 12 – блок измерения электрических параметров разряда; 13 – заслонка; 14 – ловушка

Рисунок 3.4 – Схема установки для осуществления модифицирующей обработки

Для осуществления процесса модификации твердосплавного инструмента на стол 3, который является катодом, помещают изделие 4. Из камеры откачивают воздух до давления 1,3 Па при помощи форвакуумного насоса 5 при открытых клапанах 6 и 7, контролируя величину разряжения вакуумметром 8. Заслонку 13 паромасляного диффузионного насоса 9 закрывают и включают цепь питания преобразователя высокого напряжения 11, благодаря чему между анодом 2 и катодом 3 создается разность потенциалов, величину которой устанавливают в пределах 1...5 кВ при помощи специального блока измерения 12 и блока питания 10. В результате этого возникает пробой разрядного промежутка с возникновением высоковольтного тлеющего разряда. Далее устанавливают величины давления остаточных газов, напряжения горения разряда и плотности тока. Ловушка 14 препятствует проникновению в рабочую область камеры паров масла из нагреваемого паромасляного диффузионного насоса. После окончания обработки в камеру 1 напускают воздух путем открытия клапана 15.

В процессе модификации регулирование рабочего давления в установленных пределах осуществляется при помощи заслонки 13 диффузионного насоса.

Система измерения остаточного давления 8 включает термопарный преобразователь давления и ионизационный вакуумметр.

Блок измерения электрических параметров разряда 12 состоит из киловольтметра и миллиамперметра, посредством которых измеряются напряжение горения и сила тока тлеющего разряда.

### **3.3 Порядок выполнения работы**

1 Изучить основные методы повышения эксплуатационных характеристик твердосплавного инструмента.

2 При помощи шлифовально-полировального станка ПШКН-2 по стандартной методике подготовить шлифы, необходимые для проведения исследований.

3 При помощи микротвердометра ПМТ-3 или прибора ИТ 5010 провести исследование твёрдости рабочей поверхности образцов из твердого сплава в состоянии поставки.

4 При помощи микроскопа МИМ-8м или Tescan VEGA 2SBA провести исследование структуры поверхностного слоя рабочей поверхности твердосплавных пластин в состоянии поставки.

5 Провести модифицирующую обработку части пластин на установке вакуумной для модифицирующей обработки тлеющим разрядом по режимам, предложенным преподавателем.

6 При помощи микротвердометра ПМТ-3 или прибора ИТ 5010 провести исследование твёрдости рабочей поверхности образцов из твердого сплава после модифицирующей обработки тлеющим разрядом.

7 При помощи микроскопа МИМ-8м или Tescan VEGA 2SBA провести исследование структуры поверхностного слоя рабочей поверхности твердосплавных пластин после модифицирующей обработки тлеющим разрядом.

8 Провести обработку заготовки на консольно-фрезерном станке ВФ130 инструментом, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава в состоянии поставки.

9 Построить зависимость интенсивности износа от пути резания при фрезеровании многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава в состоянии поставки.

10 Провести обработку заготовки на консольно-фрезерном станке ВФ130 инструментом, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава после модифицирующей обработки тлеющим разрядом.

11 Построить зависимость интенсивности износа от пути резания при фрезеровании многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, модифицированного обработкой тлеющим разрядом.

12 Провести обработку заготовки на токарно-винторезном станке 1Д25 инструментом, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава в состоянии поставки.

13 Построить зависимость интенсивности износа от пути резания при точении многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава в состоянии поставки.

14 Провести обработку заготовки на токарно-винторезном станке 1Д25 инструментом, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава после модифицирующей обработки тлеющим разрядом.

15 Построить зависимость интенсивности износа от пути резания при точении многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, модифицированного обработкой тлеющим разрядом.

16 При помощи профилографа-профилометра построить зависимость изменения шероховатости обработанной поверхности от пути резания инструментом, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, находящегося в состоянии поставки и модифицированного обработкой тлеющим разрядом.

17 Провести сравнительный анализ полученных зависимостей.

### ***Содержание отчета***

В состав отчета входят: схема метода вакуумного упрочнения, экспериментальные данные, графики зависимостей.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Сущность химического осаждения износостойких покрытий.
- 2 Сущность плазменно-химического осаждения износостойких покрытий.
- 3 Описать метод нанесения износостойких покрытий методом испарения электронным пучком.
- 4 Сущность метода нанесения износостойких покрытий методом испарения электрической дугой.

- 5 Сущность метода нанесения износостойких покрытий методом магнетронного распыления.
- 6 Сущность метода нанесения износостойких покрытий методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой.
- 7 Сущность метода модифицирования поверхностного слоя азотированием в тлеющем разряде.
- 8 Легирование поверхностных слоев в плазме дугового разряда.
- 9 Лазерное упрочнение поверхностных слоев.
- 10 Модифицирование поверхностного слоя ионной имплантацией.
- 11 Модифицирование поверхностного слоя тлеющим разрядом.

## **4 Лабораторная работа № 4. Исследование процесса электроэрозионной обработки деталей машин**

**Цель работы:** изучение механизма процесса, режимов и технологических особенностей электроэрозионной обработки и физической сущности процесса электроэрозионной обработки; экспериментальное определение производительности и износа инструмента при электроэрозионной обработке.

### **4.1 Основные положения**

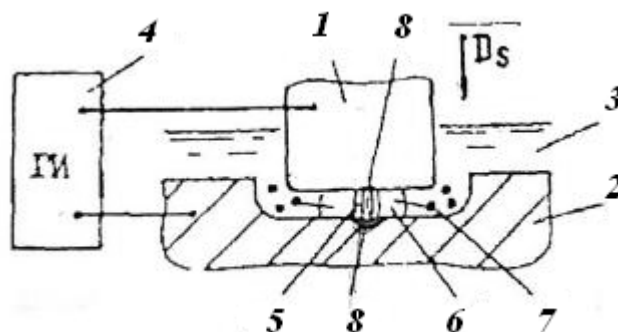
Появление принципиально новых методов размерной обработки, использующих для процесса формообразования детали электрическую, химическую, световую и другие виды энергии, вызвано бурным развитием атомной, авиационной, автомобильной, инструментальной и других отраслей промышленности, требующих применения специальных материалов, обладающих высокой прочностью и твердостью, жаропрочностью и кавитационной стойкостью.

Электрофизические методы размерной обработки охватывают комплекс разнородных по физическому механизму процессов, эффективно дополняющих методы формообразования резанием и давлением, главным образом в тех случаях, когда обрабатываются изделия из труднообрабатываемых материалов со сложной пространственной формой и высокой степенью точности, где обычные методы механической обработки неприемлемы.

Одним из видов электрофизических методов размерной обработки является электроэрозионная обработка. С явлением электрической эрозии, что по латыни означает «разъедать», ученые столкнулись уже при появлении первых электрических устройств. Физическая природа электрической эрозии связана с электрическим пробоем и разрушением металла в месте контакта в результате теплового действия разрядов электрического тока. Электроэрозионная обработка основана на импульсном подводе к локальным участкам обрабатываемой поверхности, преобразуемой в тепло электрической энергии с целью придания заготовке заданных размеров и формы. В зависимости от параметров разрядов (длительности и энергии) различают две основные разновидности электроэрозионной обработки.

1 Электроискровая обработка, основанная на использовании импульсных разрядов малой длительности (от долей миллисекунды до нескольких сотен микросекунд), малой энергии разряда и частотой повторения импульсов от 1 до 10 кГц.

2 Электроимпульсная обработка, основанная на использовании импульсных разрядов большой длительности (от сотен до десятков тысяч микросекунд), большой энергии разряда, но с меньшей частотой повторения импульсов от 50 до 3000 Гц. Электрический разряд при электроэрозионной обработке (рисунок 4.1) возникает в результате ионизации межэлектродного промежутка при напряжении, подведенном к электродам (электроду-инструменту 1 и электроду-заготовке 2).



1 – электрод–инструмент (ЭИ); 2 – электрод–заготовка (ЭЗ); 3 – диэлектрическая жидкость; 4 – генератор импульсов; 5 – канал электрического разряда; 6 – газовый пузырек; 7 – застывшие частички металла; 8 – лунки на поверхности ЭИ и ЭЗ

Рисунок 4.1 – Принципиальная схема электроэрозионной обработки

На участках поверхности электродов, наиболее близко расположенных друг к другу, степень ионизации столь высока, что электрическая прочность диэлектрика 3 (газа, жидкости) нарушается и образуется узкий канал сквозной проводимости 5, через который электронный пучок броском передает энергию, запасенную в системе. Удар электронного пучка в металлическую поверхность вызывает на локальном участке поверхности детали значительное повышение температуры (более 10000 °С), приводящее к плавлению и испарению металла. Поскольку длительность электрического импульса весьма мала, электронный пучок успевает разогреть и расплавить лишь ограниченный объем металла. В результате в жидкости образуются микроскопические застывшие частички металла 7. На поверхности заготовки и инструмента в месте расплавленного и испаренного металла образуются лунки 8. В условиях, когда промежуток между электродами отсутствует, что соответствует режиму короткого замыкания, процесс обработки прекращается. Он прекращается и тогда, когда промежуток между электродами становится очень большим. Для стабильной обработки необходимо поддержание постоянного зазора-промежутка между электродами от десятков до сотен микрон. Эти функции осуществляет специальная следящая система.

Электроэрозионная обработка проводится следующим образом. Электрод-инструмент и электрод-деталь погружаются в ванну, заполненную диэлектри-

ческой жидкостью (керосин, дизельное топливо, трансформаторное масло). Электроды соединены с генератором импульсов. Он обеспечивает нужную частоту следования и длительность импульсов разряда. Как уже указывалось, поддержание нужного разрядного промежутка осуществляет специальная следящая система. Принципиальная схема станка приведена на рисунке 4.2.

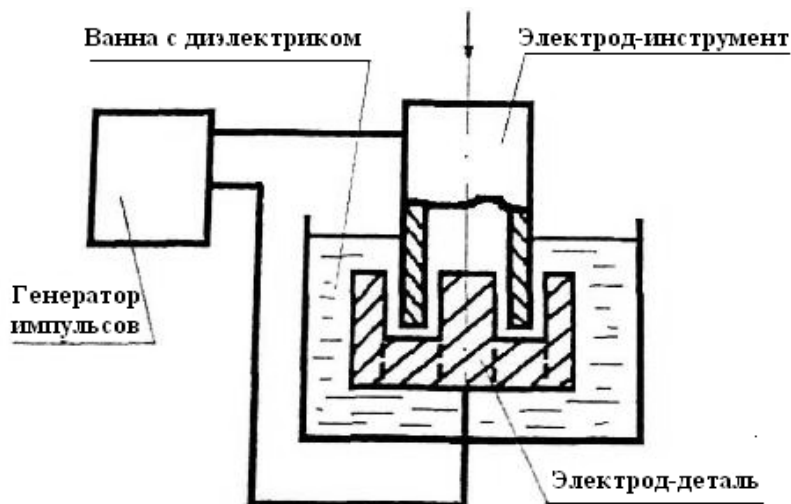
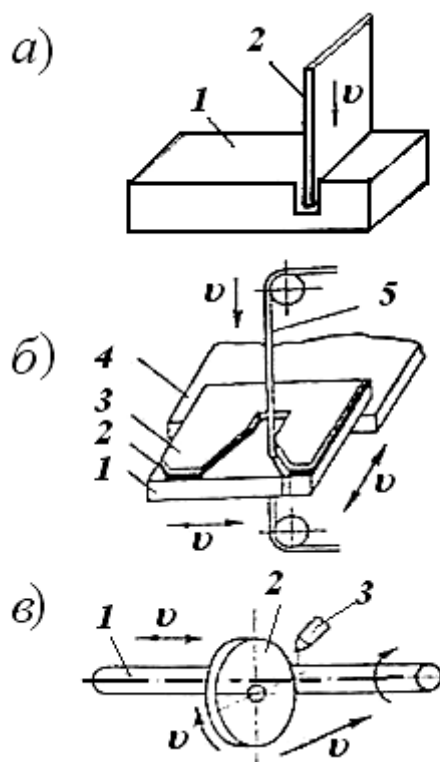


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема станка для электроэрозионной обработки

**Технологические характеристики электроэрозионной размерной обработки.** Процессы электроэрозионной размерной обработки характеризуются производительностью, степенью шероховатости обработанной поверхности, классом точности, состоянием поверхностного слоя обработанного материала.

**Область применения электроэрозионной обработки.** Специфика электроэрозионной обработки – обрабатываемость токопроводящих материалов любой твердости, отсутствие механических усилий – позволила значительно расширить технологические возможности способа. В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом выпускаются десятки типов универсальных и специальных электроэрозионных станков. Электроэрозионная обработка осуществляется на специальных станках четвертой группы (станки, основанные на применении электрофизических методов обработки). Выпускаются как обычные станки 4720, 4723, 4Е724, так и с ЧПУ, такие как 4Г721М, 4732Ф3М.

Обработка по схеме прошивки сквозных и глухих отверстий (рисунок 4.3, а) применяется при изготовлении отверстий в деталях машин и механизмов, изготовлении вырубных и ковочных штампов. Кинематическая схема профильной вырезки электродом-проволочкой открывает большие технологические возможности: изготовление из одного куска металла пуансона и матрицы с минимальным зазором, изготовление фильер, вырезка деталей сложной формы; точный, практически безотходный раскрой материала и т. д. (рисунок 4.3, б). Сообщая заготовке и электроду-инструменту вращательное движение, возможно вести процесс по кинематической схеме круглого наружного или внутреннего шлифования. По этой схеме обрабатывают поверхности тел вращения; пуансоны, дорны из твердого сплава (рисунок 4.3, в).



*a* – электроэрозионное прошивание: *1* – заготовка; *2* – электрод-инструмент;  
*б* – электроэрозионное вырезание: *1* – заготовка; *2* – прокладка; *3* – копир; *4* – стол станка;  
*5* – электрод инструмент (проволока); *в* – электроэрозионное шлифование: *1* – заготовка;  
*2* – электрод инструмент; *3* – сопло для подачи диэлектрической жидкости

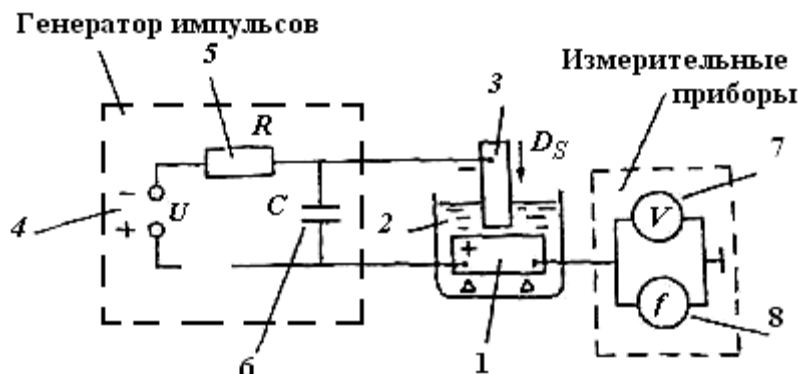
Рисунок 4.3 – Схемы технологических операций электроэрозионной обработки

## 4.2 Порядок выполнения работы

### Экспериментальная часть работы.

Электроэрозионная обработка проводится на стенде, схема которого приведена на рисунке 4.4. Основным элементом стенда является электроэрозионный копировально-прошивочный станок. В состав показанного на схеме генератора импульсов электроэрозионного станка (генератор импульсов является частью станка) входят: источник напряжения, накопительный конденсатор  $C$ , который заряжается от источника напряжения; и коммутатор  $R$ , обеспечивающий нужную частоту повторения импульсов разряда. Накопительный конденсатор, коммутатор, соединительные провода, электрододержатель, электрод, заготовка и стол станка образуют замкнутую цепь разряда накопительной емкости  $C$ . Напряжение на конденсаторе  $C$  контролируется вольтметром, а частота следования импульсных разрядов – частотомером.

В ходе проведения эксперимента по электроэрозионной обработке опытным путем необходимо установить характеристики режима обработки (средние значения напряжения разряда и частоты электрических импульсов), а также получить данные для определения производительности процесса и расчета величины износа инструмента.



1 – обрабатываемая заготовка; 2 – ванна с диэлектрической жидкостью; 3 – инструмент; 4 – источник напряжения; 5 – коммутатор; 6 – накопительный конденсатор; 7 – вольтметр; 8 – частотомер

Рисунок 4.4 – Схема экспериментального стенда

Перед началом электроэрозионной обработки заготовку и инструмент взвешивают на аналитических весах. Результаты взвешивания заносятся в протокол отчета по лабораторной работе. Затем заготовку устанавливают на столе станка, а инструмент закрепляют в электрододержателе и перемещением последнего подводят инструмент к обрабатываемой поверхности заготовки. Для начала обработки ванну рабочей жидкостью поднимают, благодаря чему инструмент и заготовка оказываются в рабочей среде. Подготовив таким образом станок к работе, производят электроэрозионную обработку заготовки 1. В процессе электроэрозионной обработки измеряются текущие значения напряжения разряда (напряжение на конденсаторе  $C$ )  $U_i$ , В; текущие значения частоты следования электрических импульсов  $f$ , Гц; длительность обработки  $t_0$ , мин.

Эти данные заносятся в протокол экспериментов. По окончании обработки заготовка и инструмент снимаются со станка и производят повторное их взвешивание. Результаты взвешивания также заносятся в протокол.

#### Расчетная часть работы.

На основании полученных экспериментальных данных вычисляют:

– среднюю величину напряжения пробоя межэлектродного промежутка  $U_{cp}$ , В, по формуле

$$U_{cp} = \sum U_j / n ,$$

где  $n$  – число измерений текущих значений напряжения разряда;

– среднюю величину частоты электрических импульсов  $f_{cp}$ , Гц, следующим образом:

$$f_{cp} = \sum f_i / n;$$

– энергию импульсного разряда.

Схема процесса электроэрозионной обработки на рисунке 4.1.



### Условия проведения эксперимента.

Материал обрабатываемой заготовки – алюминиевый сплав ( $p_z = 0,0027$  г/мм<sup>3</sup>). Материал инструмента – медь ( $p_n = 0,0089$  г/мм<sup>3</sup>).

Емкость накопительного конденсатора генератора импульсов  $C = 40$  мкФ. Диэлектрическая жидкость электроэрозионного станка – дизельное топливо. Начальная масса заготовки до обработки –  $M_{зн} = 26,85$  г. Начальная масса инструмента до обработки –  $M_{ин} = 38,90$  г.

### Параметры электроэрозионной обработки, определяемые экспериментально.

Напряжение электрического разряда:

– текущие значения  $U_i$  – 56,9; 64,6; 64,0; 68,0; 65,2; 64,6 В;

– средняя величина  $U_{cp} = 63,9$  В.

Частота следования электрических импульсов:

– текущие значения  $f_i$  – 981; 1014; 1032; 1117; 1067; 1094 Гц;

– средняя величина  $f_{cp} = 1051$  Гц. Продолжительность обработки  $t_0 = 5,0$  мин.

Результаты взвешивания заготовки и инструмента после обработки:

– конечная масса заготовки  $M_{зк} = 26,63$  г;

– конечная масса инструмента  $M_{ук} = 138,79$  г.

### Расчет параметров электроэрозионной обработки.

Энергия электрического разряда

$$W = CU_{cp}^2/2 = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 63,9 \cdot 2 / 2 = 0,082 \text{ Дж.}$$

Производительность обработки (по массе)

$$Q_M = (M_{зн} - M_{зк}) / t_0 = (26,85 - 26,63) / 1,0 = 0,22 \text{ г/мин.}$$

Объемная производительность обработки

$$Q_M = Q_M/p_z = 0,22 / 0,0027 = 81,48 \text{ мм}^3/\text{мин.}$$

Относительный износ инструмента:

$$y = (M_{ин} - M_{ук}) \cdot p_z / (M_{зн} - M_{зк}) / p_n = \\ = (38,90 - 38,79) \cdot 0,0027 / (26,85 - 26,63) \cdot 0,0089 = 0,15 \text{ (15 \%)}.$$

Машинное время прошивки отверстия

$$T = V/Q = (15 \cdot 15 \cdot 5) / 81,48 = 13,8 \text{ мин.}$$

## ***Содержание отчета***

В состав отчета входят: схема электроэрозионной обработки, расчет режимов обработки.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем сущность электроэрозионной обработки?
- 2 Какие материалы обрабатываются с помощью электроэрозионной обработки?
- 3 Назовите и дайте характеристику основных параметров, характеризующих электроэрозионную обработку.
- 4 В чем состоит различие электроимпульсного и электроискрового режимов?
- 5 Назовите и дайте характеристику основных операций электроэрозионной обработки.

## **5 Лабораторная работа № 5. Изучение конструкции и принципа работы электроэрозионного вырезного станка с числовым программным управлением**

***Цель работы:*** изучение конструкции, принципа работы и технологических возможностей электроэрозионного вырезного станка с числовым программным управлением.

### ***5.1 Основные положения***

#### **Электроэрозионная обработка.**

Методы электроэрозионной обработки металла основаны на явлении эрозии электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного пространства диэлектрической жидкостью – керосин, минеральное масло.

Операции, производимые с помощью электроэрозионной обработки:

– электроэрозионное прошивание отверстий – прошивают отверстия на глубину до 20 диаметров с использованием стержневого электрода-инструмента и до 40 диаметров – трубчатого электрода-инструмента. Глубина прошиваемого отверстия может быть значительно увеличена, если вращать электрод-инструмент, или обрабатываемую поверхность, или и то и другое с одновременной прокачкой рабочей жидкости через электрод-инструмент или с отсосом ее из зоны обработки. Скорость электроэрозионного прошивания достигает 2...4 мм/мин;

– электроэрозионное маркирование – выполняется нанесением на изделие цифр, букв, фирменных знаков и др. Электроэрозионное маркирование обеспечивает высокое качество, не вызывает деформации металла и не создает зоны концентрации внутреннего напряжения, которое возникает при маркировании ударными клеймами. Глубина нанесения знаков может колебаться в пределах от 0,1 до 1 мм. Операция может выполняться одним электродом-инструментом и по многоэлектродной схеме. Производительность составляет около 3...8 мм/с. Глубина знаков зависит от скорости движения электрода. При скорости движения электрода более 6 мм/с четкость знаков ухудшается. В среднем на знак высотой 5 мм затрачивается около 4 с;

– электроэрозионное вырезание – в основном производстве применяют при изготовлении деталей электровакуумной и электронной техники, ювелирных изделий; в инструментальном производстве при изготовлении матриц, пуансонов, пуансонодержателей и других деталей, а также вырубных штампов, копиров, шаблонов, цанг, лекал, фасонных резцов и др.;

– электроэрозионное шлифование – этот процесс шлифования применяют для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов, магнитных и твердых сплавов. Отклонение размеров профиля после электроэрозионного шлифования находится в пределах от 0,005 до 0,05 мм, шероховатость  $Ra = 2,5...0,25$ , производительность – 260 мм<sup>2</sup>/мин.

#### **Назначение станка.**

Электроэрозионный вырезной станок с числовым программным управлением предназначен для обработки деталей сложного контура с прямолинейной образующей, например рабочих элементов вырубных штампов и некоторых видов гибочных штампов, фильер для выпрессовки фасонных профилей, фасонных резцов, шаблонов, элементов струйной техники и подобных деталей. На станке могут обрабатываться любые токопроводящие материалы, независимо от их твердости, в том числе термообработанные стали, металлокерамические сплавы, медь и ее сплавы, алюминий и т. д. Может быть использован в инструментальном производстве, а также в основном производстве машиностроительной и приборостроительной промышленности. Общий вид станка представлен на рисунке 5.1.

Класс точности станка – Н по ГОСТ 20551–75. Обработка на станке выполняется электродом-проволокой, перематываемой с небольшой скоростью для устранения ее износа в зоне обработки. Обработка производится в среде рабочей жидкости, в качестве которой могут быть использованы: керосин и вода с антикоррозионными присадками. Импульсный технологический ток вырабатывается специальными тиристорно-транзисторным генератором типа ГКИ-300-200А.

Станок оснащен устройством числового программного управления типа 2М-43 на базе микроЭВМ «Электроника-60», обеспечивающим автоматическую обработку контура по программе.

С помощью специального приспособления, входящего в комплект поставки, на станке могут обрабатываться детали с наклонной образующей.

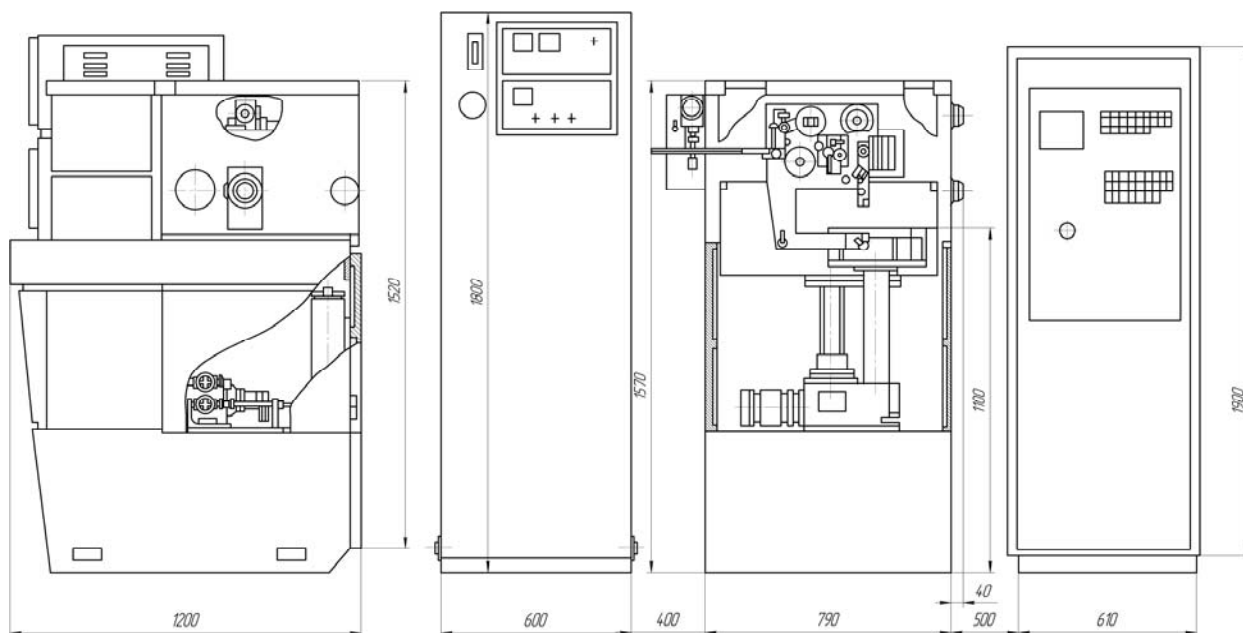


Рисунок 5.1 – Общий вид станка

По особому заказу станок комплектуется копировальной системой управления, работающей по фотошаблону (рисунок 5.2). Применение копировальной системы особенно эффективно при обработке деталей, имеющих сложный контур, программирование которого затруднено.

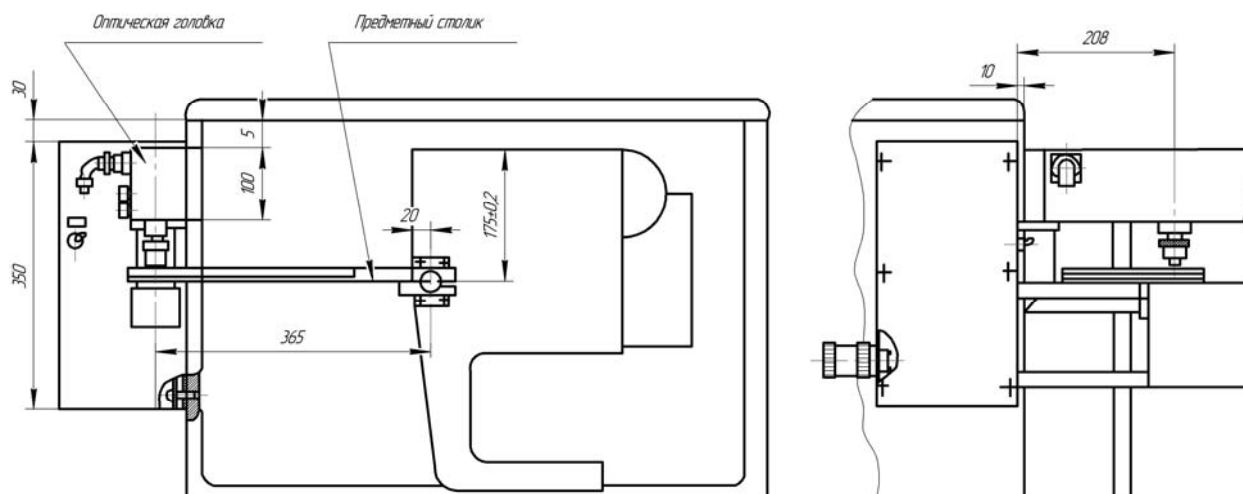


Рисунок 5.2 – Установка фотокопировального устройства на станке

Управление электроавтоматикой и режимами обработки станка может осуществляться вручную с пульта генератора и автоматически по программе от устройства ЧПУ.

Станок обеспечивает адаптивное управление режимами обработки; автоматическую выборку люфтов в редукторах механизмов координатных перемещений (по координатам X, Y); выход исполнительных органов по координатам X, Y в нулевую точку станка.

Позиционирование электрода-провода в центр технологического отверстия может осуществляться вручную и по программе с помощью цикла «поиск центра отверстия» от устройства ЧПУ.

**Перечень используемого оборудования:** электроэрозионный вырезной станок с числовым программным управлением.

## **5.2 Порядок выполнения работы**

Изучение конструкции электроэрозионного вырезного станка, принципа работы и технологических возможностей.

### **Содержание отчета**

- 1 Цель и задачи лабораторной работы.
- 2 Общий вид станка.
- 3 Основные характеристики изучаемого оборудования.
- 4 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 В чем сущность электроэрозионной обработки?
- 2 Какие материалы обрабатываются с помощью электроэрозионной обработки?
- 3 Назовите и дайте характеристику основных параметров, характеризующих электроэрозионную обработку.
- 4 В чем состоит различие электроимпульсного и электроискрового режимов?
- 5 Назовите и дайте характеристику основных операций электроэрозионной обработки.

## Список литературы

- 1 **Ящерицын, П. И.** Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 512 с.
- 2 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
- 3 **Макаров, А. Н.** Оптимизация процессов резания / А. Н. Макаров. – Москва: Машиностроение, 1986. – 278 с.
- 4 Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / Под общ. ред. В. И. Баранчикова. – Москва: Машиностроение, 1990. – 400 с.
- 5 **Баранчиков, В. И.** Справочник конструктора-инструментальщика / В. И. Баранчиков. – Москва: Машиностроение, 1994. – 560 с.
- 6 **Спиридонов, А. А.** Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.
- 7 **Кацев, П. Г.** Статистические методы исследования режущего инструмента / П. Г. Кацев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1974. – 231 с.
- 8 Справочник инструментальщика / Под ред. И. А. Орденарцева. – Ленинград: Машиностроение, 1987. – 846 с.
- 9 **Железнов, Г. С.** Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник для вузов / Г. С. Железнов, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 456 с.
- 10 **Фельдштейн, Е. Э.** Режущий инструмент: учебное пособие для вузов / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск: Новое образование, 2007. – 400 с.
- 11 Режущий инструмент: учебник / Д. В. Кожевников [и др.] ; под ред. С. В. Кирсанова. – 3-е изд. – Москва: Машиностроение, 2007. – 528 с.
- 12 Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
- 13 **Григорьев, С. Н.** Технология обработки концентрированными потоками энергии: учебник для вузов / С. Н. Григорьев, Е. В. Смоленцов, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 280 с.
- 14 **Соколов, А. Г.** Методы инженерии поверхности, применяемые в машиностроении для повышения эксплуатационных свойств изделий: учебное пособие / А. Г. Соколов, В. В. Иосифов, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 244 с.

15 Материаловедение в машиностроении : учебник для академ. бакалавриата в 2 ч. / А. М. Адаскин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – Ч. 1. – 258 с.

16 Материаловедение в машиностроении: учебник для академ. бакалавриата в 2 ч. / А. М. Адаскин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – Ч. 2. – 291 с.