

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование кафедры)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки)

Технология машиностроения
(профиль)

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Погодин Иван Петрович. Технологический процесс изготовления корпуса тормозного гидроцилиндра. Выпускная квалификационная работа (бакалаврская работа). Тольятти. Тольяттинский государственный университет, 2018. 56 с.

В выпускной квалификационной работе (ВКР) рассмотрены вопросы проектирования техпроцесса изготовления детали «корпуса тормозного гидроцилиндра» для массового типа производства.

Проведено исследование силовых характеристик при круглом врезном шлифовании. В основе предлагаемой математической модели лежит численный метод расчета главного параметра любого процесса шлифования - длины линии контакта шлифовального круга и заготовки. Предложенный алгоритм имеет универсальный характер и предоставляет возможность в последующих расчетах силовых характеристик использовать наиболее адекватную характеристику процесса шлифования - скорость снятия припуска.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Исходные данные	5
2 Технологическая часть работы	9
3 Проектирование системы автоматического управления	28
4 Безопасность и экологичность технического проекта	37
5 Экономическая эффективность работы	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	47
ПРИЛОЖЕНИЯ	50

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время особую значимость приобретают такие работы, которые, опираясь на опыт предшественников, используя современные возможности широкого применения численных методов благодаря вычислительной технике, представляют новые модели разных видов обработки, что делает их более адекватными. Предложенные подходы имеют целью как можно больше сократить эмпирическую часть математических моделей процессов резания и ввести численные методы, позволяющие проводить предварительное моделирование с целью формирования последующих алгоритмов управления. Управление должно проводиться по трем направлениям:

- 1) проектирование закона управления управляющим воздействием (чаще всего подачей) с целью стабилизации условий обработки на всем цикле обработки поверхности детали, что обеспечивает стабильное качество;
- 2) формирование скорректированной траектории формообразующего движения, которая повышает точность обработки и компенсирует упругие деформации технологической обрабатывающей системы;
- 3) оптимизация процесса резания с целью получения максимальной производительности.

1 Исходные данные.

Главный тормозной гидроцилиндр служит для подачи тормозной жидкости в рабочие цилиндры колес и создания давления в гидросистеме. Деталь работает в условиях высоких контактных напряжений, при воздействии агрессивной среды (тормозная жидкость).

За материал детали, примем серый чугун. Марка – СЧ 18–36. Основные характеристики: высокая износостойкость; хорошая обрабатываемость.

Таблица 1.1 – Состав материала.

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,15	0,2

Таблица 1.2

<i>HB</i>	$\sigma_p, \text{кгс/мм}^2$	$\sigma_H, \text{кгс/мм}^2$	$\sigma_b, \text{Мпа}$	$\sigma_n, \text{Мпа}$	$\rho, \text{т/м}^3$
170–229	18	36	176	358	70

где ρ – плотность материала.

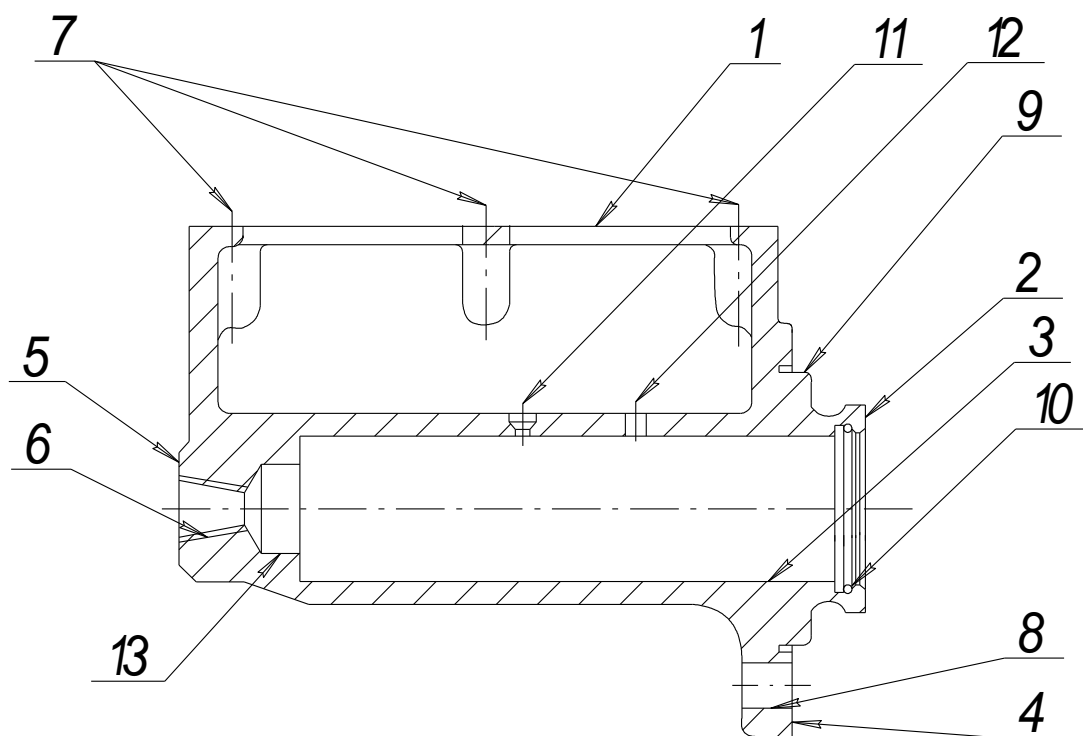


Рисунок 1.1 – Эскиз корпуса тормозного гидроцилиндра

Таблица 1.3 – Классификация поверхностей детали

Поверхности	Номер
ОКБ	отверстие 3
ВКБ (положение детали в механизме)	трубная резьба поверхность 6, посадочные отверстия 7 и плоскость 1 под крышку
Исполнительные поверхности (выполняющие служебные функции)	отверстие 3
Свободные поверхности	2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13

Такие физико–механические, химические и технологические свойства материала чугуна 18–36 вполне удовлетворяют требованиям и условиям, написанным в технологической части работы.

Выбор стратегии разработки техпроцесса.

Заготовка и конструкция детали обеспечивает:

- обрабатываемость заготовки (серый чугун – обрабатываемость материала нормальная);
- возможность получения заготовки рациональным способом (литье в оболочковые формы или литье в кокиль);
- свободные поверхности формируются на заготовительной операции.
- возможность одновременной обработки нескольких заготовок на одной операции (применение агрегатных станков).

Анализ технологичности детали

У закруглений и фасок радиусы будем выполнять по ГОСТу 10948 – 64, а форму и размеры будем выполнять по ГОСТу 1139 – 78. Таким образом, предлагаемая унификация значительно упростит механическую обработку и контроль составляющих элементов корпуса тормозного гидроцилиндра.

Для обработки данной детали можно применит универсальное оборудование. Так же можно применить универсальную оснастку.

Все поверхности корпуса тормозного гидроцилиндра доступны для контроля.

Таким образом, можно считать, что корпус тормозного гидроцилиндра является технологичной деталью.

Технологичность базирования и закрепления.

Трудности могут возникнуть при базировании корпуса под обработку отверстия – поверхность 3. Поэтому на данной операции следует применять специальное приспособление для обеспечения минимальной погрешности базирования.

В остальных случаях базирование и закрепление не вызывает больших проблем.

2 Технологическая часть работы.

Тип производства – массовый. В массовом производстве применяют поточно–автоматизированную форму обработки детали. Деталь обрабатывают на агрегатных станках.

$$T_B = \frac{60 \cdot T_D}{N_z} = \frac{60 \cdot 4015}{180000} = 1,34 \text{ мин.}$$

где, $T_D = 4015$ ч;

$N_z = 180000$ штук (годовой объем выпуска деталей).

Выбор и проектирование заготовки.

Выбор заготовки

Альтернативными методами получения заготовки являются:

- 1) литье в оболочковые формы;
- 2) литье в кокиль.

Выбор метода получения заготовки.

Как было сказано выше, в качестве заготовки для типа "корпус" средней сложности можно применить прокат, штамповку на ГKM или отливку, полученную центробежным литьем. Однако наличие больших перепадов диаметров и отверстий – поверхности 6 и 7 делает нецелесообразным методом получения заготовки из проката. Поэтому остаются два варианта – литье в оболочковые формы или в кокиль.

Суммарная стоимость тогда:

$$C_i = C_3 + C_{обр}, \quad (2.1)$$

$$C_{3i} = C_{\text{м}}/1000 * M_3 * K_{\text{сн}} * K_{\text{т}} * K_{\text{сл}}, \quad (2.2)$$

или

$$C_{\text{м}}/1000 * M_{\partial}/K_{\text{ум}} * K_{\text{сн}} * K_{\text{т}} * K_{\text{сл}}, \quad (2.3)$$

где $C_{\text{м}}$ – цена исходного материала руб./т, которая зависит от марки материала и его вида;

M_3 и M_{∂} – масса заготовки и детали, кг.

$$M_{\partial} = \pi/4 * (40,5 + 887,216 + 100 - 95,4 - 50,625 - 73,101 - 60 - 19,266 - 4,968 - 9,882 - 3,125 + 70,47) * 0.007826 = 5,80 \text{ кг}$$

$$M_{3l} = (\pi/4 * (d_1^2 * l_1 + d_2^2 * l_2 + d_3^2 * l_3 - d_4^2 * l_4) - \pi/3 * l_5 * (r_5^2 + r_5 * r_6 + r_6^2) - \pi/3 * l_7 * (r_4^2 + r_4 * r_7 + r_7^2)) * \rho,$$

$$M_{3l} = (\pi/4 * (166.1168 + 1024.6401 + 110.123 - 47.91) - \pi/3 * 2.72 * 20.1675 - \pi/3 * 2.18 * 17.4025) * 0.007826 = 6.1 \text{ кг}$$

$$M_{32} = \pi/4 * (d_1^2 * l_1 + d_2^2 * l_2 + d_3^2 * l_3 - d_4^2 * l_4 - d_5^2 * l_5 - d_6^2 * l_6) * \rho,$$

Проектирование заготовки

Таблица 2.1 – Назначение припусков.

Размер	Допуск	Припуск
<i>123,6</i>	$\pm 1,8$	<i>1,8</i>
<i>113,8</i>	$\pm 1,8$	<i>1,8</i>
<i>114,6</i>	$\pm 1,8$	<i>1,8</i>
<i>159,4</i>	$\pm 1,8$	<i>4,4</i>
<i>80</i>	$\pm 1,4$	<i>2,6</i>
<i>67,6</i>	$\pm 1,4$	<i>2,6</i>
<i>13,8</i>	$\pm 0,8$	<i>1,8</i>
<i>60</i>	$\pm 1,6$	—
<i>18,6</i>	$\pm 0,8$	<i>2,20</i>
<i>R 30</i>	± 5	—
<i>R 40</i>	± 5	—
<i>R 70</i>	± 5	—
<i>R 40</i>	$\pm 1,2$	—
<i>Ø 63,6</i>	$\pm 1,4$	<i>3,6</i>
<i>Ø 45</i>	$\pm 1,4$	—
<i>Ø 34</i>	$\pm 1,2$	—
<i>Ø 6,2</i>	$\pm 0,4$	<i>1,8</i>
<i>Ø 16,4</i>	$\pm 0,8$	<i>3,6</i>
<i>Ø 16,4</i>	$\pm 0,8$	<i>3,6</i>

Литейные радиусы закруглений принимаем 2 мм, ГОСТ 26645–85.

Выбор методов обработки поверхностей.

Поскольку заготовка обрабатывается на автоматической линии (агрегатные станки), то установочной базой на первой операции служат: отверстие детали 3 (двойная направляющая база) и торцовая поверхность 2 (опорная база). На последующих операциях используются обработанные плоскость 1 и посадочные отверстия 7. Такое базирование обеспечивает выполнение принципа единства баз, а также совпадения технологических и измерительных баз.

Расчет припусков.

Метод – литье в оболочковые формы. Класс точности отливки $6T$; ряд припусков I .

Последовательность обработки отверстия включает в себя следующие операции:

Зенкерование черновое, припуск – $2Z_1$, поле допуска – H , качество – 10 , шероховатость – $R_A 6,3 \text{ мкм}$.

Развертывание получистовое, припуск – $2Z_4$, поле допуска – H , качество – 8 , шероховатость – $R_A 2,5 \text{ мкм}$.

Растачивание чистовое, припуск – $2Z_5$, поле допуска – H , качество – 7 , шероховатость – $R_A 1,25 \text{ мкм}$.

Шлифование, припуск – $2Z_6$, поле допуска – H , качество – 6 , шероховатость – $R_A 1,25 \text{ мкм}$.

Определение элементов припуска:

$$R_z = 80 \text{ мкм}, h = 120 \text{ мкм}$$

$$\text{После зенкерования черногого} - R_z = 32 \text{ мкм}, h = 40 \text{ мкм}$$

$$\text{После развертывания получистового} - R_z = 12,5 \text{ мкм}, h = 16 \text{ мкм}$$

$$\text{После растачивания чистового} - R_z = 3,2 \text{ мкм}, h = 5 \text{ мкм}$$

$$\text{После шлифования} - R_z = 1,6 \text{ мкм}, h = 2,5 \text{ мкм}$$

Определение допусков на операции:

Допуск на заготовку для литья в оболочковые формы и класса точности отливки $6T$ $T_{заг} = 0,44 \text{ мм}$

Допуск:

$$T_1 = 0,2 \text{ мм}$$

$$T_2 = 0,062 \text{ мм}$$

$$T_3 = 0,025 \text{ мм}$$

$T_4 = 0,016 \text{ мм}$ (по чертежу детали).

Определение пространственных отклонений.

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{CM}^2 + \Delta_{KOP}^2}$$

где Δ_{CM} – смещение стержня в горизонтальной или вертикальной плоскости (принимается равным $0,15 \text{ мм}$, т.к. получается отверстие на заготовительной операции.)

$\Delta_{кор}$ – отклонение плоской поверхности отливки от плоскостности

$$\Delta_{KOP} = \Delta_K L$$

$$\Delta_{кор} = 131 \cdot 0,0015 = 0,2 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,15^2 + 0,2^2} = 0,25 \text{ мм}$$

Суммарные отклонения

После чернового зенкерования отверстия

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_y l)^2 + C_0^2}$$

где C_0 – смещение оси отверстия = $20 \text{ мкм} = 0,02 \text{ мм}$

Δ_y – значение увода зенкера = $1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм}$

l – длина отверстия = 131 мм

$$\Delta_{\Sigma 1} = \sqrt{(0,001 \cdot 131)^2 + 0,020^2} = 0,133 \text{ мм зенкерование черновое.}$$

На остальные переходы назначаем, воспользовавшись коэффициентом уточнения формы:

$$\Delta_{\Sigma 2} = 0,133 \cdot 0,05 = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$\Delta_{\Sigma 3} = 0,0028 \cdot 0,02 = 13,4 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$$

$$\Delta_{\Sigma 4} = 13,4 \cdot 10^{-5} \cdot 0,005 = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ мм}$$

развертывание полуступенчатое, растачивание и шлифование соответственно.

Погрешность установки:

$$\varepsilon = \sqrt{(\Delta_{\varepsilon_0})^2 + (\Delta \varepsilon_3)^2}$$

где ε_0 – погрешность базирования

ε_3 – погрешность закрепления

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5TD + 2e$$

где e – эксцентриситет наружной поверхности до оси наружной поверхности = 0,01

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,01 = 0,028 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{(0,028)^2 + (0,05)^2} = 0,057 \text{ мм} \text{ зенкерование черновое}$$

На остальные переходы воспользуемся коэффициентом уточнения

$$\varepsilon_2 = 0,057 \cdot 0,05 = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$\varepsilon_3 = 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 = 5,7 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$$

$$\varepsilon_4 = 5,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,005 = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ мм}$$

развертывание получистовое, растачивание и шлифование соответственно.

Определение расчетного припуска.

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma}^2 + \varepsilon_i^2})$$

Тогда при зенкеровании черновом:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (80 + 120 + \sqrt{133^2 + 57^2}) = 690 \text{ мкм} = 0,69 \text{ мм}$$

на развертывании получистовом

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (16 + 12,5 + \sqrt{67^2 + 28^2}) = 202 \text{ мкм} = 0,202 \text{ мм}$$

на растачивании получистовом:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (3,2 + 5 + \sqrt{13,4^2 + 5,7^2}) = 54 \text{ мкм} = 0,054 \text{ мм}$$

на шлифование:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (1,6 + 2,5 + \sqrt{0,67^2 + 0,28^2}) = 12 \text{ мкм} = 0,012 \text{ мм}$$

Определим расчетные размеры.

Определим номинальные размеры.

$$d_{3\text{АГНОМ}} = d_{3\text{АГМИН}} + e_{i3} = 31,466 - 0,22 = 30,246 \approx 31,2 \text{ мм}$$

Размер заготовки $\varnothing 31,2^{+0,22}_{-0,22} \text{ мм}$

Размер после зенкерования черного $\varnothing 31,7^{+0,2}_{\text{мм}}$

Размер после развертывания получистового $\varnothing 31,93^{+0,062}_{\text{мм}}$

Размер после рассверливания получистового $\varnothing 31,97^{+0,025}_{\text{мм}}$

Размер после шлифования $\varnothing 31,98^{+0,016}_{\text{мм}}$

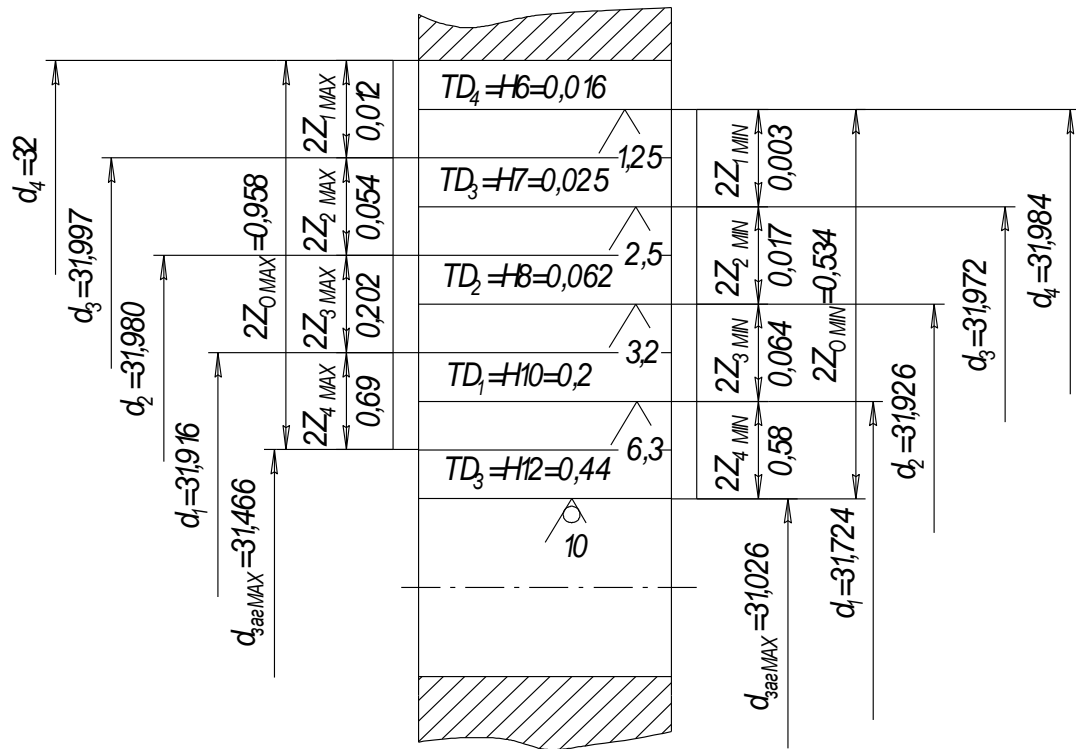


Рисунок 2.1 – Расположение припусков и допусков отверстия $\varnothing 32\text{H6}$

Таблица 2.2 – Припуски на Ø32Н6.

Переходы	Параметры				Расчетный припуск $2Z_{min}$	Технологический допуск, мм	Предельные размеры		Предельны е значения припусков	
	R_z	H	Δ_Σ	ε			d_{max}	d_{min}	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
Заготовка	80	120	—	—	—	0,44	31,46 6	31,02 6	—	—
Зенкерование черновое	42	60	133	57	0,69	0,2	31,91 6	31,72 4	0,69	0,45
Развертыван ие получистовое	16	12,5	67	28	0,20 2	0,064	31,98 0	31,92 6	0,202	0,06 4
Растачивание получ—е	3,2	5	13,4	5,7	0,05 4	0,025	31,99 7	31,97 2	0,054	0,01 7
Шлифование	1,6	2,5	0,67	0,28	0,01 2	0,016	32 4	31,98 4	0,012	0,00 3

На остальные поверхности припуски назначаем по справочнику.

Разработка ТМ.

Таблица 2.3 – ТМ изготовления детали.

№ операции, позиции	Наименование операции	Оборудование	Содержание операции
005, I	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямоточного типа	Загрузочная
005, II	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямоточного типа	Фрезеровать поверхность 1
005, III	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямоточного типа	Сверлить 6 отверстия. Поверхности 7
005, IV	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямоточного типа	Сверлить отверстия поверхность 11, 12
010, I	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Загрузочная

Продолжение таблицы 2.3

010, II	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Фрезеровать поверхность 2, 5
010, III	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Зенкеровать поверхность 3,13,6 (поверхность 3 начерно)
010, IV	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Расточить поверхность 4
010, V	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Расточить поверхность 9
010, VI	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Расточить поверхность 10
010, VII	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Зенкеровать 3 отверстия поверхность 8, нарезать резьбу на поверхность 6
010, VII	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Развернуть отверстие пов.3 предварительно

Продолжение таблицы 2.3

010, IX	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Расточить отверстие поверхность начисто 3
010, X	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Разгрузочная
020	Шлифовальная	Шлифовальный п/а модели 3K228A	Шлифовать Агрегатная 3 окончательно
030	Резьбонарезная	Резьбонарезной п/а модели 2054M	Нарезать резьбу в 6 отверстиях. Поверхность 7.
040	Мойка		
050	Контроль		

Проектирование технологических операций.

Расчет основного времени.

$$T_{o2} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns},$$

где T_{o2} – основное время;

l – длина рабочего хода;

l_1 – величина недовода инструмента;

l_2 – величина выхода инструмента;

n – частота вращения инструмента;

s – подача инструмента на оборот;

Позиция 1 (загрузочная).

Позиция 2 (фрезерование).

За счет параллельной работы инструментов время сокращается вдвое.

Время рассчитываем по формуле:

Подставив значения в формулу, получим

$$T_{o2} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{45 + 7 + 3}{364,313 * 0,2} = 0,75 \text{ мин.}$$

Позиция 3 (зенкерование).

$$T_{o3} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{140 + 5 + 0}{509,926 * 0,4} = 0,71 \text{ мин.}$$

Позиция 4 (растачивание).

$$T_{o4} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{22 + 4 + 0}{363,936 * 0,7} = 0,1 \text{ мин.}$$

Позиция 5 (растачивание).

$$T_{o5} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{7,5 + 4 + 0}{322,853 * 0,7} = 0,05 \text{ мин.}$$

Позиция 6 (растачивание).

$$T_{o6} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{3 + 4 + 0}{532,247 * 0,7} = 0,02 \text{ мин.}$$

Позиция 7 (растачивание).

Зенкерование

$$T_{o7-1} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{16 + 7 + 0}{918,332 * 0,6} = 0,04 \text{ мин.}$$

Нарезание резьбы

$$T_{o7-2} = \frac{l + 3P + l_2}{nP} = \frac{20 + 3 * 1 + 0}{432,971 * 1} = 0,05 \text{ мин.}$$

где P – шаг резьбы, мм.

Позиция 8 (развертывание).

$$T_{o8} = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{131 + 7 + 0}{51,029 * 1,4} = 1,99 \text{ мин.}$$

Позиция 9 (растачивание).

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{ns} = \frac{127 + 4 + 0}{2390 * 0,24} = 0,228 \text{ мин.}$$

Позиция 10 (разгрузочная).

Рассчитаем вспомогательное и штучное время по позициям обработки.

Вспомогательное время определяем по формуле:

$$T_{\phi} = T_{инд} + T_{xx},$$

где $T_{инд}$ – время индексации; $T_{инд} = 5 \text{ с} = 0,083 \text{ мин.}$;

T_{xx} – время холостых ходов инструмента.

$$T_{xx} = l_{xx} / S_{xx},$$

где l_{xx} – суммарная длина вспомогательных ходов инструмента (по технологической наладке);

S_{xx} – скорость быстрого перемещения инструмента, $S_{xx} = 5000 \text{ мм/мин.}$

Позиция 1 (загрузочная)

Позиция 2 фрезерование.

$$l_{xx} = 15 + 45 = 60 \text{ мм.}$$

$$T_{xx} = 60 / 5000 = 0,012 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 0,75 + 0,083 + 0,012 = 0,845 \text{ мин.}$$

Позиция 3 (зенкерование)

$$T_{\epsilon 3} = 0,083 + 142 / 5000 = 0,111 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 0,71 + 0,111 = 0,821 \text{ мин.}$$

Позиция 4 (расточивание)

$$T_{\epsilon 4} = 0,083 + 34 / 5000 = 0,09 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 0,1 + 0,09 = 0,19 \text{ мин.}$$

Позиция 5 (расточивание)

$$T_{\epsilon 5} = 0,083 + 29,5 / 5000 = 0,088 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 0,05 + 0,088 = 0,138 \text{ мин.}$$

Позиция 6 (расточивание)

$$T_{\epsilon 6} = 0,083 + 38 / 5000 = 0,09 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 0,02 + 0,09 = 0,11 \text{ мин.}$$

Позиция 7 (резьбонарезание)

Так как резьбонарезание занимает больше основного времени, чем зенкерование, а обработка на позиции проходит параллельно, то штучное время на этой позиции определяется по резьбонарезанию.

$$T_{\epsilon 7} = 0,083 + 28 / 5000 = 0,088 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 0,05 + 0,088 = 0,138 \text{ мин.}$$

Позиция 8 (развертывание)

$$T_{\text{с8}} = 0,083 + 145 / 5000 = 0,112 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{ит}} = 1,99 + 0,112 = 2,102 \text{ мин.}$$

Позиция 9 (растачивание)

$$T_{\text{с9}} = 0,083 + 135 / 5000 = 0,11 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{и}} = 0,228 + 0,11 = 0,338 \text{ мин.}$$

Позиция 10 (разгрузочная)

Для удобства восприятия информации, занесем все полученные данные в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Расчет режимов резания и норм времени

№ позиции	s_o	v	n	T_o	T_{um}
1	—	—	—	—	—
2	0,2	114,452	364,313	0,75	0,845
3	0,4	50,943	509,926	0,71	0,821
4	0,7	68,6	363,934	0,1	0,19
5	0,7	60,856	322,853	0,05	0,138
6	0,7	63,54	532,247	0,02	0,11
7	0,144	10,882	432,971	0,05	0,138
8	1,4	5,13	51,029	0,99	2,102
9	0,24	240,245	2390	0,228	0,338
10	—	—	—	—	—

Синхронизация переходов на агрегатной операции.

Лимитирующее штучное время – на позиции №8 (растачивание главного отверстия) равно 2,102 мин, что превышает такт выпуска, определенный ранее: $\tau_b=0,63$ мин.

В условиях массового производства, при обработке на агрегатно–поточном станке следует провести синхронизацию.

Для обеспечения нормальной работы инструментов увеличиваем штучное время так, чтобы $t_{шт}$, было приблизительно равно такту выпуска. После этого корректируем режимы резания.

На всех позициях считаем целесообразным изменять подачу (за исключением позиции резьбонарезания), так как изменение других параметров резания может негативно сказаться на параметрах обработанной детали. На позиции резьбонарезания производить уменьшение скорости резания так же,

как и подачи, не является целесообразным из-за возрастания при этом сил резания. Поэтому режимы на позиции 7 оставляем неизменными. При этом может возрасти стойкость резьбонарезного инструмента.

Скорректированные режимы резания представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Режимы резания и нормы времени с учетом синхронизации позиций обработки

№ пози ции	s_o	v	n	T_o	T_e	T_{um}
1	—	—	—	—	—	—
2	0,3	99,3	316,114	0,57	0,095	0,66
3	0,6	42,447	424,88	0,56	0,111	0,67
4	1,1	55,296	293,352	0,073	0,09	0,163
5	0,7	60,856	322,853	0,05	0,088	0,138
6	0,7	63,54	532,247	0,02	0,09	0,11
7	0,144	10,882	432,971	0,05	0,088	0,138
8	1,6	4,799	47,733	1,807	0,112	1,919
9	0,32	214,131	2130	0,192	0,11	0,302
10	—	—	—	—	—	—

3 Проектирование системы автоматического управления.

Используемая программа способна моделировать как процессы наружного, так и внутреннего врезного шлифования (рисунок 3.1). На изображении осциллографа синхронно с анимацией процесса шлифования в графическом окне, где воспроизводится взаимодействие заготовки 1 и шлифовального круга 2, появляются осциллограммы его характеристик: линия 3 – длина линии контакта, линия 4 – окружная составляющая силы резания. Припуск показан на заготовке более темным цветом, а линия контакта – красным цветом (линия 5).

Демонстрация шлифования заготовки или шлифовального круга соответствующие изменения отображаются в графическом окне в масштабе 2:1, тем не менее, припуск изображается в масштабе 40:1. Такой прием позволяет наблюдать процесс срезания припуска, несмотря на относительно малую величину припуска в сравнении с размерами заготовки и шлифовального круга.

По осциллограмме окружной составляющей силы резания и длины линии контакта видно, что через время одного оборота заготовки процесс резания выходит на установившийся режим, а оставшийся припуск неравномерно распределен по контуру будущей детали. Полученные результаты полностью согласуются с установленными для моделирования исходными данными. Один оборот заготовки выполняется за 1 с (частота вращения заготовки, установленная на интерфейсе – 60 об/мин), перемещение шлифовального круга на величину припуска – за 1,8 с. Тем не менее, время шлифования заготовки в заданный размер является больше на время ее одного оборота из-за необходимости снятия оставшегося слоя припуска (рисунок 3.1).

Отметим, что все полученные данные относятся к процессу шлифования, представленному без учета упругих деформаций и динамических характеристик ТОС. Учитывая важность таких характеристик для практики

шлифования, используемая модель должна служить базой для развития в этом направлении.

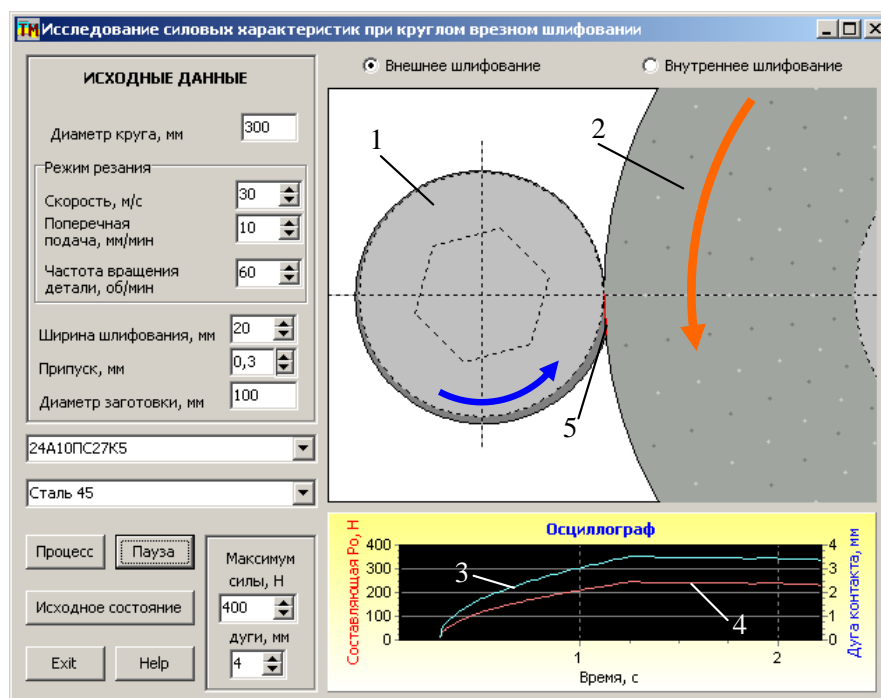


Рисунок 3.1 – Главный интерфейс прикладной программы

Диаметр D_k шлифовального круга изменяется: для внешнего шлифования в свободном диапазоне, для внутреннего шлифования в диапазоне, который не превышает $D_k < 0,85D_z$ (мм) с любым шагом; диаметр D_z заготовки: для внешнего шлифования в свободном диапазоне, для внутреннего шлифования в диапазоне, который не превышает $D_z < 100$ мм с любым шагом; скорость резания – $V = 20...100$ м/с с дискретностью 10 м/с; поперечная, врезная подача – $S = 2...10$ мм/мин с дискретностью 1 мм/мин; частота вращения детали $n_d = 20...240$ об/мин с шагом 10 об/мин; ширина обработки $B = 10...30$ мм с шагом 1 мм; припуск $Pr = 0,1...1$ мм с шагом 0,1 мм.

Пользуясь возможностью прикладной программы изменять поперечную подачу в процессе моделирования, такой эксперимент удобно проводить в процессе моделирования одного цикла шлифования заготовки. После

изменения поперечной подачи измерения проводить после выхода процесса на установившийся режим работы как показано на рисунок 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема выполнения измерений

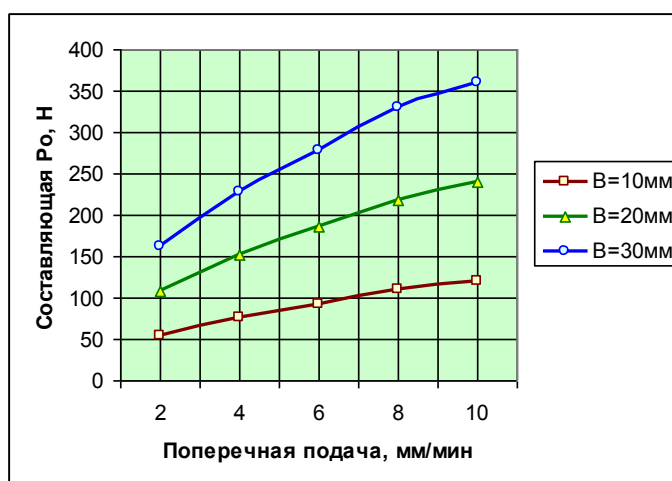


Рисунок 3.3 – Графики зависимости окружной составляющей силы резания от подачи и ширины шлифования.

Проведение следующей серии экспериментальных исследований выполняется также по схеме однофакторного эксперимента для случая внешнего шлифования. Графики соответствующих зависимостей представлены на рисунке 3.4.

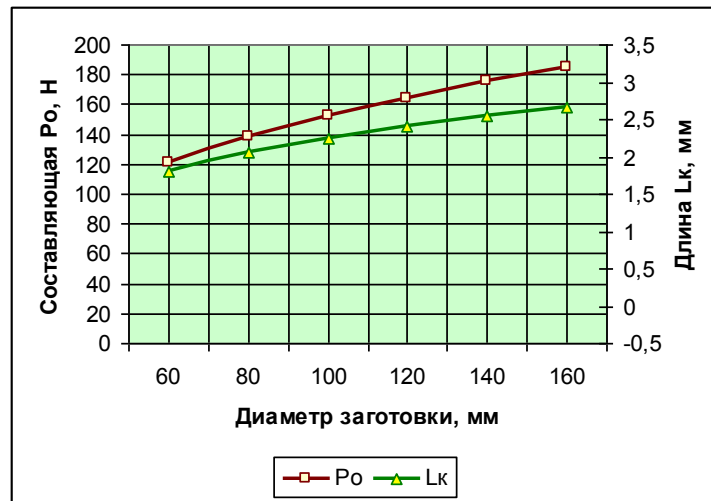


Рисунок 3.4 – Графики зависимости окружной составляющей силы резания и длины линии контакта от диаметра заготовки.

Аналогично проводится серия экспериментальных исследований окружной составляющей силы резания и длины линии контакта от диаметра шлифовального круга. Графики установленных экспериментальных зависимостей также построены с использованием пакета Excel на рисунке 3.5.

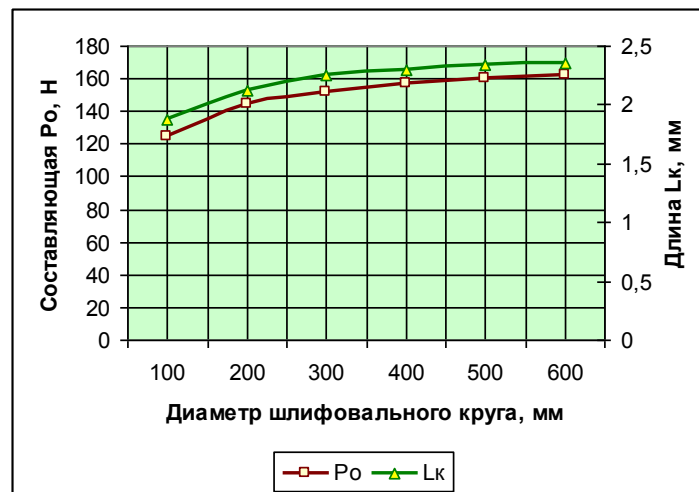


Рисунок 3.5 – Зависимости окружной составляющей силы резания и длины линии контакта от диаметра шлифовального круга.

При выполнении следующей серии экспериментов по результатам моделирования определяется окружная составляющая силы резания, а мощность шлифования рассчитывается по известной зависимости:

$$N_{ш} = P_o V$$

где $N_{ш}$ – мощность шлифования, Вт.

Полученный результат можно считать всей мощностью, которая тратится на резание, поскольку скорость вращения заготовки значительно меньше, чем скорость резания. Такая характеристика процесса резания является очень важной, поскольку именно мощность резания определяет израсходованную энергию и в значительной степени температуру поверхностного слоя заготовки, которая существенно влияет на ее качество.

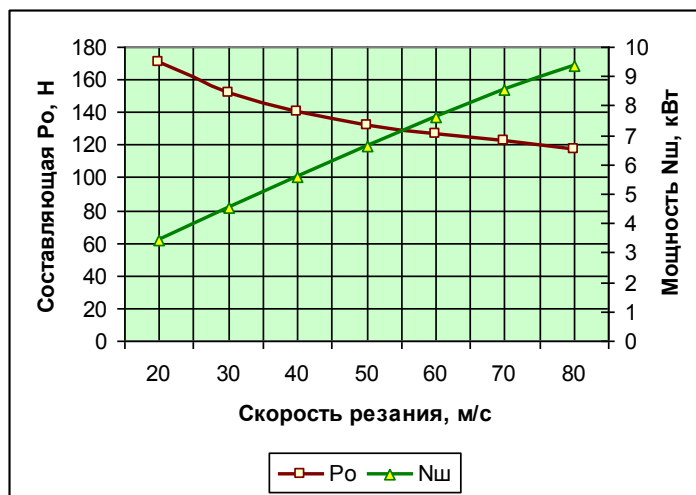


Рисунок 3.6 – Графики зависимости окружной составляющей силы резания и мощности шлифования от скорости резания.

Для демонстрации функциональных возможностей моделирования процесса врезного круглого шлифования, последняя серия экспериментов проведена для случая внутреннего шлифования. Состояние интерфейса в

процессе моделирования представлено на рисунке 3.7. По сравнению с применяемыми ранее исходными данными изменен только диаметр шлифовального круга – 80 мм.

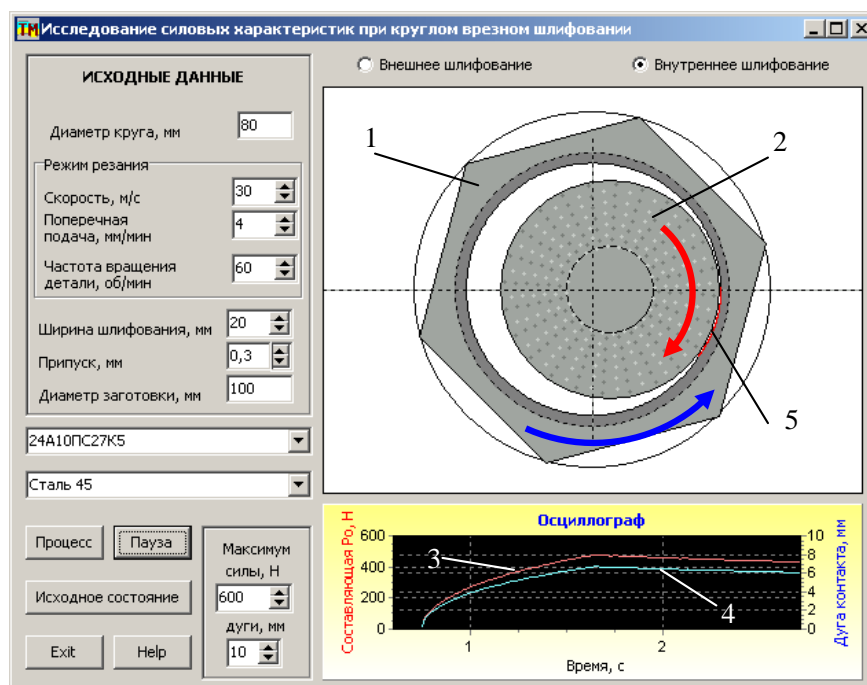


Рисунок 3.7 – Интерфейс прикладной программы при моделировании круглого внутреннего шлифования.

В анимационном поле интерфейса представлена заготовка 1 и шлифовальный круг 2. Обращаем внимание на смену направления вращения шлифовального круга в сравнении с внешним шлифованием (рисунок 3.1), что сделано для сохранения схемы встречного шлифования.

Исходя из возможностей графической анимации процесса, изменение частоты вращения заготовки не влияет на частоту ее вращения при анимации процесса, тем не менее, пропорционально изменяется скорость перемещения шлифовального круга в направлении поперечной подачи – слева – направо в графическом окне.

Припуск показан на заготовке более темным цветом, а линия контакта – красным цветом (линия 5).

Программа проверяет геометрическую возможность формообразования и в таком случае необходимо уменьшить диаметр круга до величины, меньшей внутреннего диаметра заготовки.

Результаты экспериментальных исследований представлены в графическом виде – на рисунке 3.8.

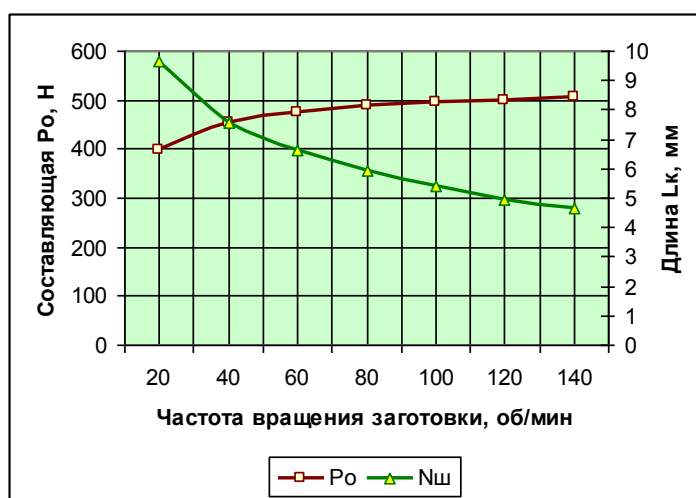


Рисунок 3.8 – Графики зависимости окружной составляющей силы резания и длины линии контакта от частоты вращения заготовки.

Выводы проведенных исследований:

1. Из первой серии экспериментов можно сделать вывод, что поперечная подача существенно влияет на окружную составляющую силы резания. Зависимость является нелинейной, что соответствует данным натурных экспериментов. Тем не менее, в зависимости, по которой проводится моделирование, поперечная подача отсутствует и влияние происходит за счет изменения длины линии контакта и соответственно скорости снятия припуска. Сравнение значений окружной составляющей силы резания при разной ширине шлифования свидетельствует о прямой пропорциональности – увеличение

ширины шлифования приводит к увеличению окружной составляющей силы резания во столько же раз.

2. Изменение диаметра заготовки при всех других неизменных параметрах вызывает изменение окружной составляющей силы резания. Причем в указанных диапазонах и исходных данных окружная составляющая силы резания изменяется больше, чем длина линии контакта, что свидетельствует о нелинейности процесса резания. Аналогичное влияние изменения диаметра шлифовального круга (рисунок 3.5). Из рассмотрения результатов моделирования влияния геометрических параметров процесса круглого врезного шлифования на силовые характеристики, можно сделать вывод о существенной нелинейности такого влияния. В диапазоне меньших геометрических размеров изменение диаметра заготовки или шлифовального круга более сильно влияет на силу резания через длину линии контакта шлифовального круга с заготовкой. Так увеличение диаметра заготовки в 2 раза с *60 мм* до *120 мм* вызывает изменение окружной составляющей силы резания на *43 Н*, а увеличение диаметра шлифовального круга в 2 раза с *300 мм* до *600 мм* соответственно – на *10 Н*.

3. Влияние скорости резания на силовые характеристики процесса круглого врезного шлифования не является однозначным: повышение скорости резания уменьшает силу резания и увеличивает мощность шлифования. Причем сила резания более чувствительна к скорости в диапазоне меньших скоростей резания. По результатам экспериментов при увеличении скорости резания в 4 раза с *20 м/с* до *80 м/с* окружная составляющая силы резания увеличивается в *1,46* раза, тогда как мощность шлифования в *2,75* раза. Таким образом, повышение скорости резания ослабляет силовую напряженность процесса, что является положительным фактором, однако энергетическая напряженность увеличивается, что, без применения специальных методов отвода тепла в зоне резания, вызывает прижеги, структурные изменения поверхностного слоя детали и затрудняет применение методов скоростного шлифования на практике.

4. Частота вращения детали при других неизменных параметрах процесса, в частности поперечной подаче, существенно влияет на процесс шлифования. Такое влияние происходит по счет пропорционального уменьшения глубины резания при увеличении частоты вращения заготовки, что провоцирует уменьшение длины линии контакта шлифовального круга и заготовки. В то же время увеличение частоты вращения вызывает повышение скорости снятия припуска с поверхности заготовки. Такой противоположный характер влияния можно наблюдать на тенденции изменения графиков (рисунок 3.8). Увеличение частоты вращения заготовки с 20 об/мин до 140 об/мин вызывает уменьшение длины линии контакта в $2,08$ раза, а сила резания все же увеличивается в $1,27$ раза.

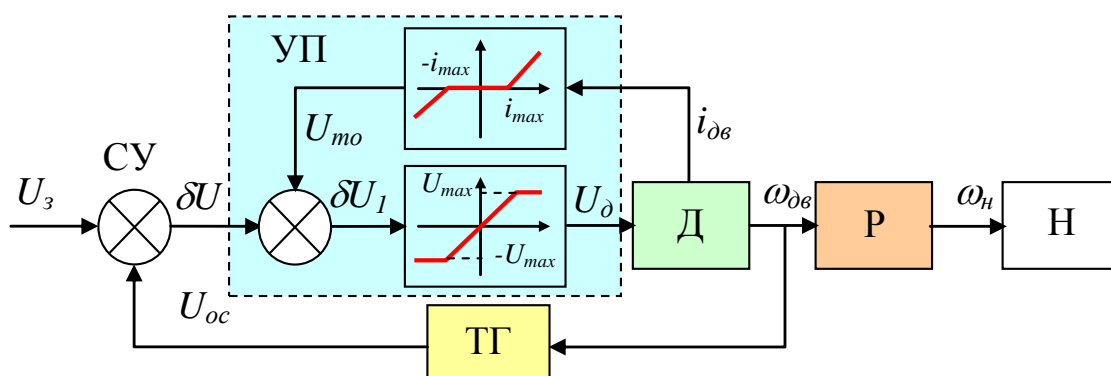


Рисунок 3.9 – Структурная схема САУ.

4 Безопасность и экологичность технического объекта.

В процессе выполнения рабочими своих должностных обязанностей они могут подвергать себя рискам и в конечном итоге не исключено получение производственных травм. В данном разделе представлено задействованное оборудование и вредные воздействия, которые могут возникнуть при несоблюдении техники безопасности. Описаны мероприятия, выполнение которых сведет получение производственных травм к минимуму.

Тема ВКР: «Технологический процесс изготовления корпуса тормозного гидроцилиндра»

4.1 Назначение участка

Описываемый участок предназначается для изготовления детали «корпус тормозного гидроцилиндра».

4.2 Планировка рассматриваемого участка

Производственная площадь – представляет собой площадь, которая занята производственным оборудованием и местами для рабочих возле этого оборудования.

Вспомогательная площадь – представляет собой площадь, на которой располагаются вспомогательные подразделения, такие как: ремонтные и инструментальные службы, лаборатории, склады, служебно-бытовые помещения, а также межцеховые магистральные проезды.

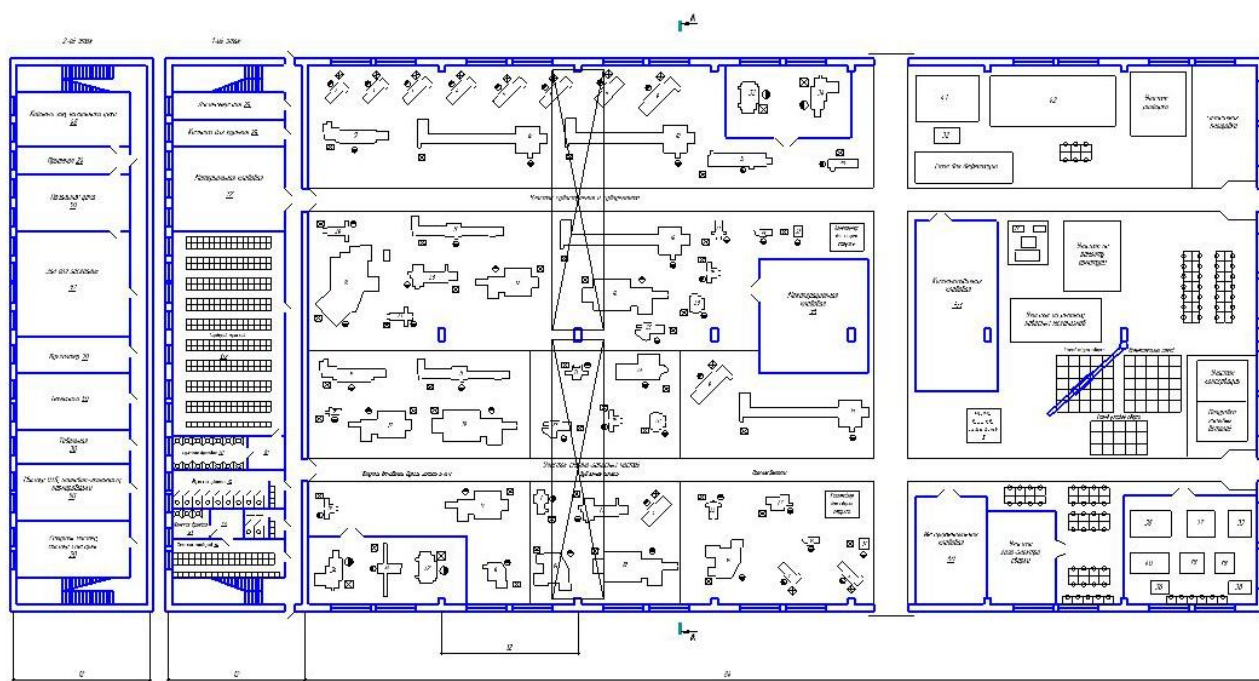


Рисунок 4.1 – План участка

4.3 Состав оборудования

Наименование и количество оборудования представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Состав оборудования

№ п/п	Оборудование	Количество, шт.
1	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямоточного типа	4
2	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	10
3	Шлифовальный п/а модели 3К228А	1
4	Резьбонарезной п/а модели 2054М	1
Итого:		16

Таблица 4.2 – Технологический маршрут обработки детали «Корпус тормозного гидроцилиндра»

Наименование цеха	Номер операции	Наименование операции	Применяемое оборудование	Содержание операции
Механический	005 (I)	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямооточного типа	Загрузка
Механический	005 (II)	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямооточного типа	Фрезерование
Механический	005 (III)	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямооточного типа	Сверление
Механический	005 (IV)	Агрегатная	IV Позиционный агрегатный станок со столом прямооточного типа	Сверление
Механический	010 (I)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямооточным столом	Загрузка
Механический	010 (II)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямооточным столом	Фрезерование
Механический	010 (III)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямооточным столом	Зенковка
Механический	010 (IV)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямооточным столом	Растачивание
Механический	010 (V)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямооточным столом	Растачивание

Продолжение таблицы 4.2.

Механический	010 (VI)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Растачивание
Механический	010 (VII)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Зенковка
Механический	010 (IX)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Растачивание
Механический	010 (X)	Агрегатная	X Позиционный агрегатный станок с прямоточным столом	Разгрузка
Механический	020	Шлифовальная	Шлифовальный п/а модели 3K228A	Окончательное шлифование
Механический	030	Резьбонарезная	Резьбонарезной п/а модели 2054M	Нарезание резьбы

Поскольку была улучшена технологическая операция: окончательное шлифование 020, то идентификацию по рискам будем проводить только по этой операции.

4.2 Анализ вредных производственных факторов.

Таблица 4.3 – Вредные производственные факторы

№ п/п	Технологические операции	Вредные производственные факторы	Мероприятия, которые позволят уменьшить вредные воздействия
1	Шлифование	<p>1. Попадание частиц абразивных материалов на изделие и в рабочую зону</p> <p>2. Высокая температура на поверхности шлифовального круга и обрабатываемой заготовки</p> <p>3. Испарения СОЖ при механической обработке</p> <p>4. Высокий уровень шума и вибраций при работе оборудования</p>	<p>1. Ношение защитных очков, специальной одежды. Наличие защитного экрана. Удаление отходов в металлическую тару с последующей утилизацией по мере наполнения емкости.</p> <p>2. Использование СОЖ на синтетической основе.</p> <p>3. Установка отопительно-вентиляционного оборудования.</p> <p>4. Использование акустических экранов, противошумных наушников, закрывающих ушную раковину снаружи. Установка на оборудования виброизолирующих опор.</p>

В процессе выполнения данного раздела был проанализирован состав вредных и опасных факторов на описываемом производстве, предложены меры, которые помогут снизить воздействия опасных и вредных факторов.

5 Экономическая эффективность работы.

Цель раздела – рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического процесса и произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта, определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений.

В рамках данной бакалаврской работы разрабатывается технологический процесс изготовления корпуса тормозного гидроцилиндра, подробное описание которого представлено в предыдущих разделах. Также в предыдущих разделах описаны условия совершенствования операции 010 агрегатной, в результате которых удалось достичь сокращения ее трудоемкости.

Для выполнения этой операции используется X-позиционный агрегатный станок с прямоточным столом. В качестве оснастки применяется самодентрирующий 3-х кулачковый патрон. Для выполнения всех закрепленных за данной операцией процессов применяется набор инструментов, в который входят: резец проходной, сорный проходной, отрезной, и сверло центровочное.

Результатом предложенного совершенствования операции 010, как говорилось выше, стало снижение трудоемкости ее выполнения на 15,3%, т.е. трудоемкость снизилась с 6,22 до 5,27 минут.

На диаграмме (рисунок 5.1) представлены основные изменения параметров, участвующих в формировании технологической себестоимости, и которые наглядно показывают, на сколько, изменятся эти величины.

Для определения каждой величины, указанной на рисунке 5.1, использовалась методика расчета элементов технологической себестоимости и пакет программного обеспечения Microsoft Excel.



Рисунок 5.1 – Изменение величин параметров, входящих в технологическую себестоимость, руб.

Предложенные совершенствования агрегатная операции не предполагают изменения заготовки, поэтому затраты, связанные материалом, меняться не будут, поэтому данный параметр исключим из расчетов, т.к. он не будет оказывать влияние на конечный результат расчета.

Из рисунка 5.1 видно, что наибольшее влияние на технологическую себестоимость оказывают расходы на содержание и эксплуатацию оборудования. Но благодаря предложенному совершенствованию эти затраты удалось сократить, совокупное снижение составляет 3,98 руб., а с учетом программы выпуска ожидаемая экономия сожжет составить 716,4 тыс. руб., что уже не кажется такой не значительной величиной.

Данное изменение, безусловно, окажет прямое влияние величину полной себестоимости изготовления корпуса. Для определения значения полной себестоимости воспользуемся методикой калькулирования. В результате проведенных расчетов, полная себестоимость по совершенствованной операции

составит 40,38 руб., а до совершенствования она составляла – 47,1 руб., т.е. совершенствование позволило сократить полную себестоимость на 6,72 руб., что составляет 14,3%.

Далее проанализируем изменения, связанные с общими капитальными затратами до и после совершенствования операции 010 агрегатной. На диаграмме (рисунок 5.2) представлены величины основных затрат по сравниваемым вариантам операции 010.



Рисунок 5.2 – Динамика изменения элементов общих капитальных затрат в операцию 010 агрегатную, руб.

Анализируя, представленные на диаграмме (рисунок 5.2), статьи капитальных затрат, можно заметить, что сопутствующие капитальные вложения в проектируемый вариант операции 010 возрастают, в то время как остальные затраты уменьшаются. Это связано с тем, что данная величина учитывает такие затраты как затраты на проектирование, которых уже нет в базовом варианте, поэтому они увеличивают конечный результат этого

значения. Но не смотря на это, общие капитальные затраты снижаются, т.к. по остальным параметрам затраты имеют тенденция к снижению, поэтому они перекрывают затраты на проектирование. Это говорит о положительном влиянии предлагаемых совершенствований.

Для подтверждения положительного влияния в результате совершенствования дополнительно проведем расчет экономической эффективности работы. Для этого также будет использоваться пакет программного обеспечения Microsoft Excel и специальная методика расчета по экономическому обоснованию целесообразности внедрения предлагаемых мероприятий.

В результате проведенных расчетов был получен положительный результат чистого дисконтированного дохода (интегрального экономического эффекта), который составляет 31845,1 руб., а прибыль на каждый вложенный рубль (индекс доходности) составила 1,22 руб./руб. Представленные значения позволяют сделать окончательный вывод о целесообразности внедрения предложенных совершенствований по технологическому процессу изготовления корпуса тормозного гидроцилиндра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы проведено исследование силовых характеристик при круглом врезном шлифовании. В основе предлагаемой математической модели лежит численный метод расчета главного параметра любого процесса шлифования - длины линии контакта шлифовального круга и заготовки. Предложенный алгоритм имеет универсальный характер и предоставляет возможность в последующих расчетах силовых характеристик использовать наиболее адекватную характеристику процесса шлифования - скорость снятия припуска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
2. Байкалова, В.Н. Основы технического нормирования труда в машиностроении: Учебное пособие. / В.Н. Байкалова, И.Л. Приходько, А.М. Колокатов. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. – 105 с.
3. Безъязычный, В.Ф. Основы технологии машиностроения: Учебник. – М. : Инновационное машиностроение, 2016. – 568 с.
4. Гельфгат, Ю.И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учебное пособие для машиностроительных техникумов. – М. : Высшая школа, 1986. – 271 с.
5. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.- методическое пособие. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. –52 с.
6. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.
7. ПОТ Р М-004-97 Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.
8. ГОСТ 12.3.025-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Обработка металлов резанием. Требования безопасности (с Изменением N 1).
9. Данилевский, В.В. Лабораторные работы и практические занятия по технологии машиностроения. / В.В. Данилевский, Ю.И. Гельфгат. – М.: Высш. шк., 1988. – 222 с.
10. Ермолаев, В.В. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин: Учебник. / В.В. Ермолаев, А.И. Илянков. – М.: Издательский центр «Академия », 2015. – 336 с.

- 11.Зубкова, Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ / Н.В. Зубкова,— Тольятти: ТГУ, 2015, 46 с.
- 12.Зуев, А.А. Технология машиностроения. — 6-е издание, исправленное и дополненное — СПб.: Издательство «Лань», 2003. — 496 с.
- 13.Иванов, И.С. Расчёт и проектирование технологической оснастки в машиностроении: Учебное пособие. — М.: ИНФРА-М, 2015. — 198 с.
- 14.Иванов, И.С. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин: Учебное пособие. — М.: ИНФРА-М, 2014. — 223 с.
- 15.Ильенков, А.И. Технология машиностроения: Учебное пособие. / А.И. Ильенков, В.Ю. Новиков. — М.: Издательский центр «Академии», 2017. — 432 с.
- 16.Клепиков, В.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие. / В.В. Бодров, В.Ф. Солдатов. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 229 с.
- 17.Клепиков, В.В. Технология машиностроения: Учебник. / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. — М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2004. — 860 с.
- 18.Клепиков, В.В. Технология машиностроения: Учебник. / В.В. Клепиков, Н.М. Султан-заде, В.Ф. Солдатов и др. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 387 с.
- 19.Ковшов, А.Н. Технология машиностроения: Учебник. — 2-е издание, исправленное. — СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 320 с.
- 20.Колокатов, А.М. Шлифование абразивным и алмазным инструментом: Учебное пособие. / А.М. Колокатов, В.Н. Байкалова. — М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. — 76 с.
- 21.Кондаков, А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие. — М.: КНОРУС, 2012. — 400 с.
- 22.Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие. / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. — М.: Машиностроение, 2005. — 304 с.

23. Курчаткин, В.В. Надежность и ремонт машин: Учебник для студентов вузов. / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
24. Маталин, А.А. Технология машиностроения: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 512 с.
25. Некрасов, С.С. Технология машиностроения. / С.С. Некрасов, И.Л. Приходько, Л.Г. Баграмов. – М.: Колос, 2005. – 360 с.
26. Приходько, И.Л. Проектирование заготовок: Учебное пособие. / И.Л. Приходько, В.Н. Байкалова. – М.: Издательство РГАУ–МСХА, 2016. – 171 с.
27. Скворцов, В.Ф. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 330 с.
28. Суслов, А.Г. Технология машиностроения: Учебник. – М.: КНОРУС, 2013. – 336 с.
29. Сысоев, С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов. / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Маршрутная карта.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Операционные карты.

