

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

Часть 2



Могилев 2019

УДК 621.77.016
ББК 34.51/59
К 38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«21» декабря 2018 г., протокол № 4

Составители: канд. техн. наук, доц. А. М. Довгалев;
канд. техн. наук, доц. С. А. Сухоцкий

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. Д. Камчицкая

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

Учебно-методическое издание

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Часть 2

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Технический редактор	С. Н. Красовская
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 36 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 7.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ.....	4
1 Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки	5
2 Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием	7
3 Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы	10
4 Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала.....	16
5 Расчет способа точной поднастройки режущего инструмента при растачивании.....	19
6 Методы управления точностью при совмещенной обработке деталей резанием и ППД.....	23
7 Конструирование, изготовление и исследование динамометра для статического нагружения формообразующих элементов технологического оборудования	26
8 Исследование процесса магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей деталей технических систем	28
Список литературы	32



Меры безопасности при проведении лабораторных работ

Перед началом занятий проветрить помещение.

На рабочем месте должно находиться все только необходимое для работы на данном станке. Все лишние предметы необходимо убрать.

Перед пуском станка необходимо опробовать работу механизмов станка вручную. При наличии обнаруженных дефектов станок не включать и принять меры по устранению неисправностей.

Обрабатываемая заготовка и режущий инструмент должны быть надежно закреплены.

При работе на сверлильных, фрезерных и других станках держать заготовку руками категорически запрещается.

Необходимо проверить исправность предохранительных ограждений, имеющих на станке. Ограждения должны быть надежно закреплены.

Категорически запрещается снимать ограждения во время работы станка.

Проверить закрепления кулачков в патроне; нельзя допускать максимального расхождения кулачков в патроне.

Проверить обязательно, не оставлен ли ключ в патроне.

При работе на токарных станках не разрешается стоять против патрона, а при работе на шлифовальных станках — против шлифовального круга.

Трогать руками вращающиеся инструменты и изделия запрещается.

Перед началом работы на шлифовальных станках необходимо проверить шлифовальный круг (отсутствие или наличие трещин).

На заточных и шлифовальных станках без предохранительных кожухов работать категорически запрещается.

При работе на заточных станках обязательно пользоваться предохранительными очками.



1 Определение статической жесткости технологической системы комбинированными методами обработки

Цель работы: ознакомиться с существующими методами определения статической жесткости элементов металлорежущего станка. Оценить эффективность определения статической жесткости элементов технологической системы с помощью комбинированного инструмента. Дать предложения по разработке новых производственных методов определения статической жесткости технологической системы.

Применяемое оборудование и измерительные инструменты.

- 1 Станок токарно-винторезный 16Д25.
- 2 Специальный комбинированный инструмент, содержащий корпус, режущий и деформирующий элементы.
- 3 Обрабатываемый вал. Материал вала – сталь 45 (180...200 НВ). Размеры вала – $(D \times \ell) : 50 \times 200$ мм.
- 4 Микрометр (ГОСТ 6507–78).

Схема экспериментальной установки.

В состав установки входят: токарно-винторезный станок с патроном 1 и задним центром 2; обрабатываемый вал 3; комбинированный инструмент с корпусом 4, режущим 5 и деформирующим 6 элементами; силовая пружина 7; резцедержатель 8 (рисунок 1.1).

Методика проведения эксперимента.

- 1 Закрепить вал в патроне 1 и заднем центре 2.
- 2 Закрепить корпус 4 комбинированного инструмента в резцедержателе 8.
- 3 Настроить режущий 5 и деформирующий 6 элементы в соответствии с рисунком 1.1.
- 4 Установить режимы обработки (задаются преподавателем): n , S , $P_{\text{Деф}}$, t_1 .
- 5 Обработать резанием и деформированием поверхность вала (см. рисунок 1.1, а, б).
- 6 Измерить диаметры D_1 и D_2 полученных на валу цилиндрических шеек.
- 7 Определить величину упругих отжатий в технологической системе под действием силы деформирования по формуле

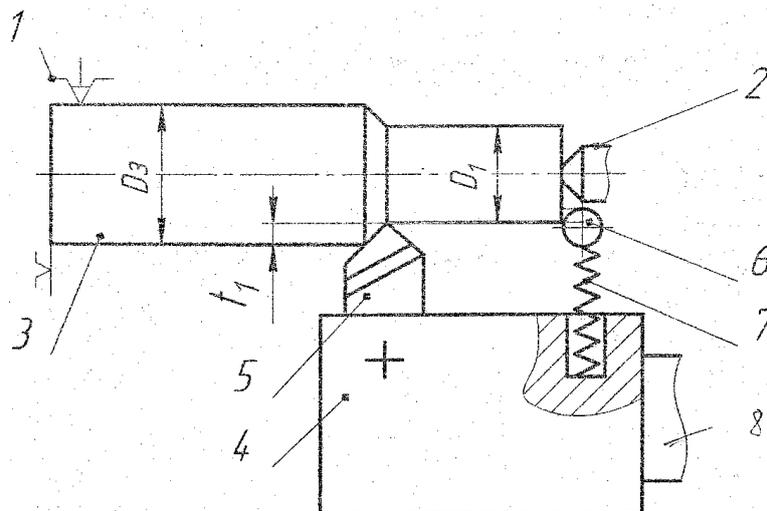
$$y = \frac{1}{2}(D_2 - D_1).$$

- 8 Определить статическую жесткость технологической системы по зависимости

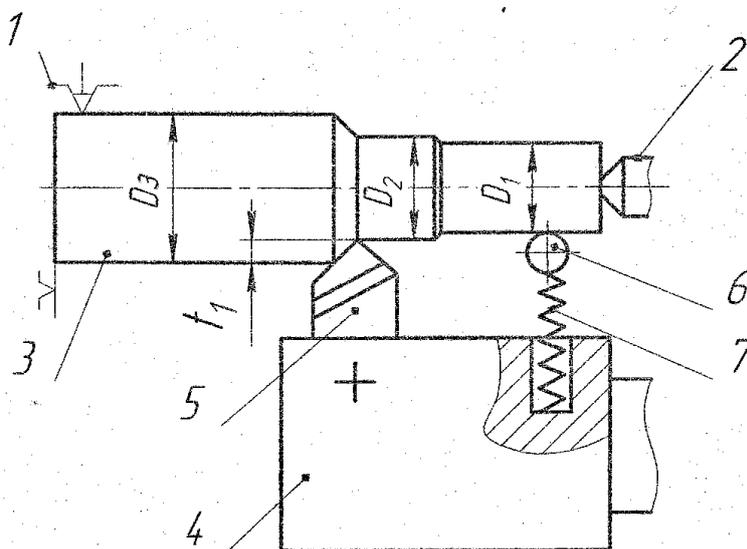
$$j = \frac{2P_{\text{Деф}}}{D_2 - D_1}.$$



а)



б)



а – до вступления в работу деформирующего элемента; б – после вступления в работу деформирующего элемента

Рисунок 1.1 – Схема установки для определения статической жесткости технологической системы

Обработка результатов эксперимента:

- выполнить пп. 7–8 методики проведения эксперимента;
- дать предложения по усовершенствованию метода определения статической жесткости технологической системы;
- составить заявку на предполагаемое изобретение.

Содержание отчета

- 1 Наименование работы.
- 2 Цель работы.

- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Применяемое оборудование и инструменты.
- 5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.
- 6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается сущность процесса совмещенной обработки резанием и ППД?
- 2 Назовите известные Вам методы определения статической жесткости технологической системы.
- 3 В чем заключается преимущество метода определения статической жесткости технологической системы с помощью комбинированного инструмента?
- 4 Зависит ли жесткость технологической системы от режимов обработки?
- 5 Какими методами можно повысить жесткость технологической системы?

2 Определение динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием

Цель работы: ознакомиться с методами определения динамической жесткости технологической системы. Оценить возможность определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием. Дать предложения по разработке новых методов определения динамической жесткости технологической системы.

Применяемое оборудование и измерительные инструменты.

- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Резцы проходные (ГОСТ 18878–73, Т15К6).
- 3 Контрольная оправка в сборе с обрабатываемыми кольцами.
- 4 Индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ 577–68) с ценой деления 0,002 мм.
- 5 Стойка магнитная.
- 6 Микрометр (ГОСТ 6507–78).

Схема экспериментальной установки.

В состав экспериментальной установки входят (рисунок 2.1): оправка 1, имеющая соосную цилиндрическую шейку 2; эксцентрично расположенная цилиндрическая шейка 3; обрабатываемые кольца 4, 5, 6, 7; проставочные втулки 8, 9 и гайки 10, 11; токарно-винторезный станок с трехкулачковым патроном 12, задним центром 13 и суппортом 14; резцы 15, 16; магнитная стойка 17; индикатор часового типа 18.



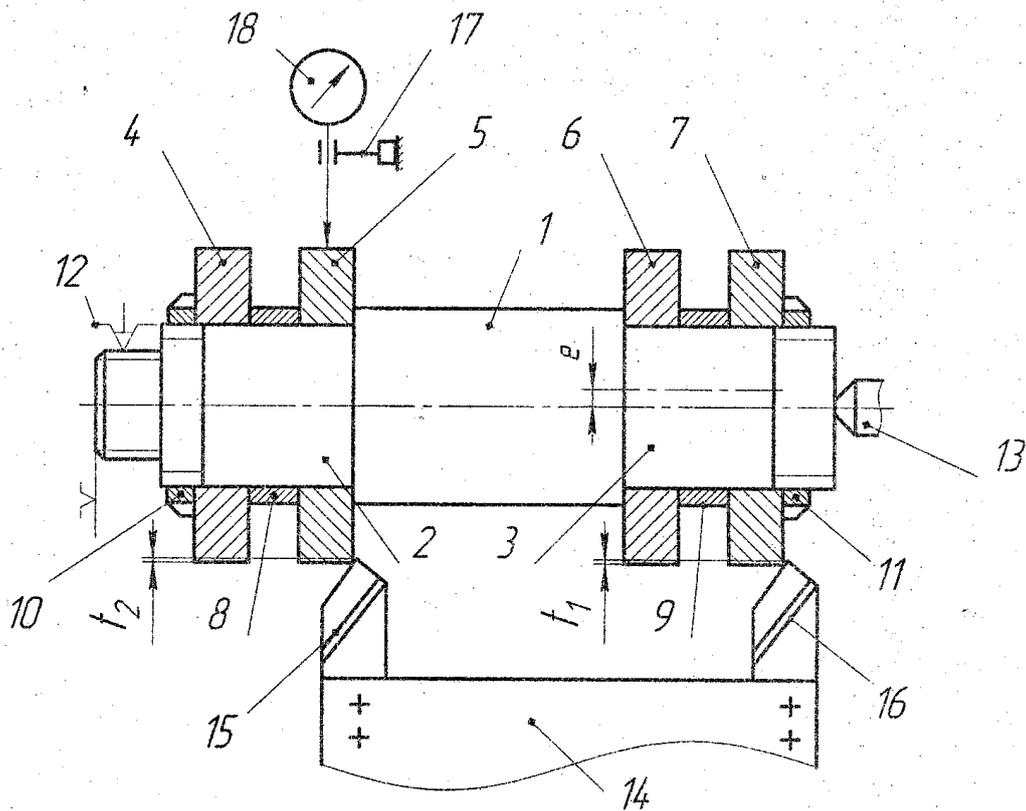


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

Методика проведения эксперимента.

1 Установить на оправке 1 обрабатываемые кольца 4, 5, 6, 7 (стали 45, 180...200 НВ).

2 Закрепить оправку 1 в сборе на станке в соответствии с рисунком 2.1.

3 Настроить резцы 16, 15 соответственно на глубину резания: $t_1 = (0,5 + e)$ мм; $t_2 = 0,2...0,4$ мм (e – величина эксцентриситета цилиндрической шейки 3 оправки 1).

4 Установить на станке режимы резания (задаются преподавателем): n , S .

5 Обточить обрабатываемые шейки 4, 5, 6, 7 оправки 1.

6 Индикатором 18 измерить величину погрешности геометрической формы обрабатываемых шеек 4, 5, 6, 7. Данные измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Сводная таблица экспериментальных и расчетных параметров

Параметры	Номер обработанной шейки			
	4	5	6	7
Погрешность геометрической формы шейки, мкм				
Средняя величина погрешности геометрической формы 4 и 5 шеек, мкм	$Y_{cp} =$		–	
Расчетное значение измерения радиальной составляющей силы резания, Н	$\Delta P_y =$			
Динамическая жесткость технологической системы, Н/мкм	$j_D = \frac{\Delta P_y}{Y_{cp}} =$			

7 Определить аналитическим методом изменение радиальной составляющей силы резания ΔP_y при обтачивании колец 6, 7, закрепленных на эксцентрично расположенной цилиндрической шейке 3. Уточнить параметры технологической системы, необходимые для расчета величины изменения радиальной составляющей силы резания. При этом изменение глубины резания следует принять равной $\Delta t = e$.

Обработка результатов эксперимента:

– определить динамическую жесткость технологической системы по формуле

$$J_d = \Delta P_y / U_{cp};$$

- дать предложения по усовершенствованию метода определения динамической жесткости технологической системы;
- составить заявку на предполагаемое изобретение.

Содержание отчета

- 1 Наименование работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Применяемое оборудование и инструменты.
- 5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.
- 6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

Контрольные вопросы

- 1 Что входит в состав технологической системы при механической обработке деталей на металлорежущих станках?
- 2 Что называется жесткостью технологической системы?
- 3 Какими методами можно повысить жесткость элементов металлорежущего станка?
- 4 В чем заключается разница в понятиях «статическая» и «динамическая» жесткость?
- 5 Какие методы определения жесткости элементов технологической системы Вы знаете?
- 6 В чем заключается преимущество метода определения динамической жесткости технологической системы комбинированным резанием?



3 Определение динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы

Цель работы: изучение методики экспериментального определения динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики технологической системы.

Используемое оборудование и технологическая оснастка.

- 1 Токарно-винторезный станок модели 16Д25.
- 2 Инструмент деформирующий ИД.000.000.СБ.
- 3 Резец проходной, Т15К6.
- 4 Индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ577–68) с ценой деления 0,002 мм.
- 5 Стойка магнитная.
- 6 Динамометр специальный (жесткость пружины $c = (5 \times 10^4)$ Н/мм).
- 7 Величина эксцентриситета деформирующего ролика $e = 3$ мм.
- 8 Эталонная деталь (рисунок 3.1).

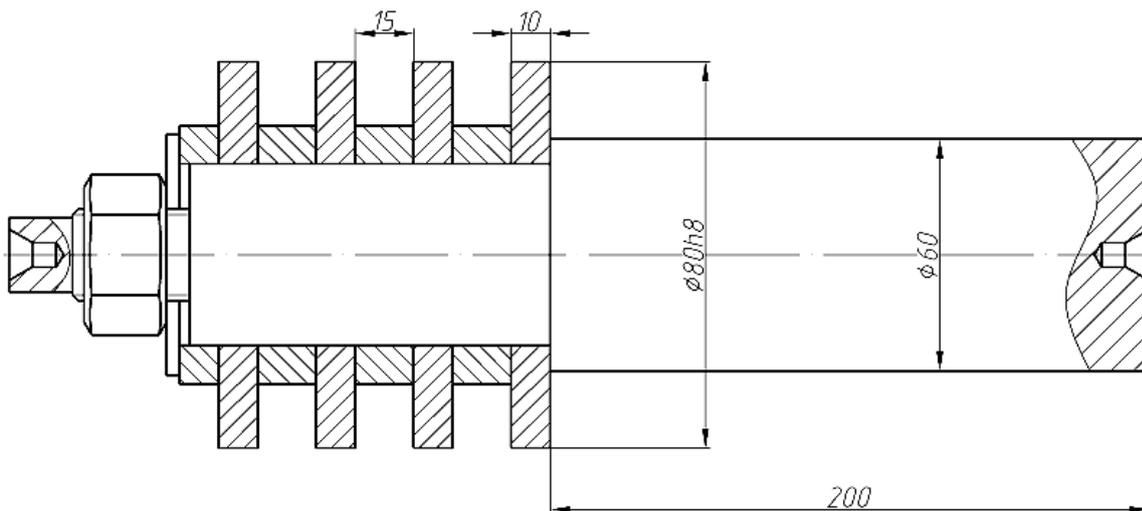


Рисунок 3.1 – Эскиз эталонной детали

Динамическая жесткость ТС является комплексным параметром, определяющим виброустойчивость процесса механической обработки, а следовательно, и точность геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

Под динамической жесткостью ТС понимают способность системы сопротивляться действию динамических сил, изменяющихся по гармоническому закону.

Динамическая жесткость определяется из уравнения

$$j_d = \frac{P_{\text{дин}}(\omega)}{y(\omega)}, \quad (3.1)$$

где j_d – динамическая жесткость ТС, Н/м;

$P_{дин}(\omega)$ – динамическая сила, действующая на ТС и изменяющаяся по гармоническому закону, Н;

$u(\omega)$ – величина упругих отжатий в ТС в направлении действия силы (величина упругих относительных колебаний детали и инструмента), м.

Известные методы экспериментального определения динамических характеристик ТС: динамической жесткости и амплитудно-частотной характеристики имеют высокую себестоимость, достаточно сложны, требуют для своей реализации специальных вибраторов и сложной контрольно-регистрирующей аппаратуры и приемлемы только для лабораторных условий [3].

В Белорусско-Российском университете разработан способ определения динамических характеристик ТС, лишенный указанных недостатков и легко реализуемый как в лабораторных условиях, так и в условиях производства [4].

Схема установки для осуществления разработанного способа определения динамических характеристик ТС представлена на рисунке 3.2.

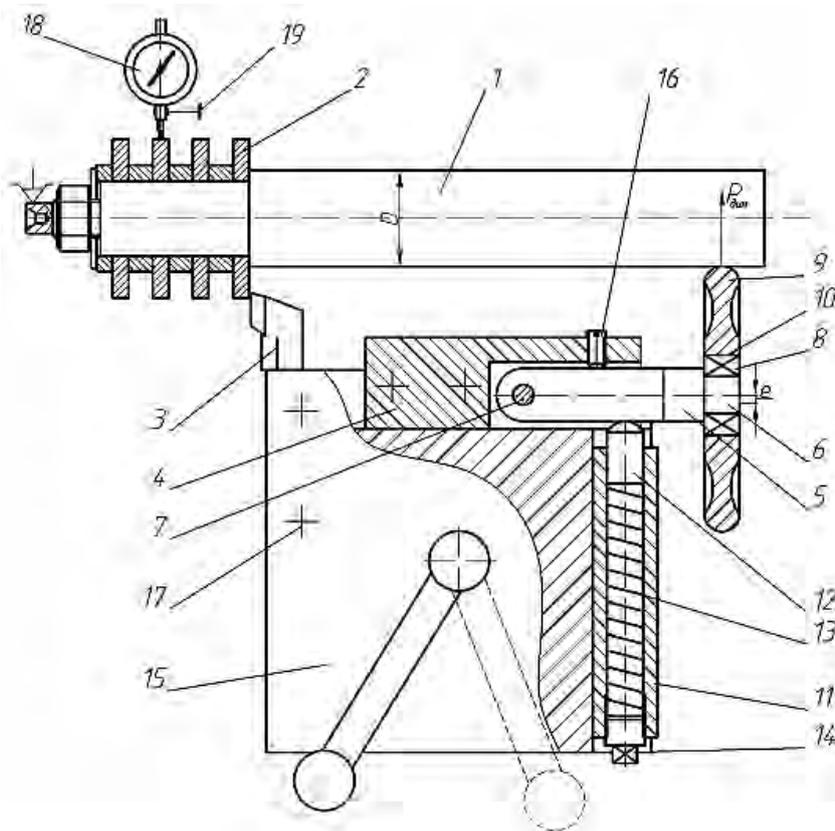


Рисунок 3.2 – Схема установки для проведения исследований

Схема включает эталонную деталь 1 с шейками 2 (шейки 2 предварительно обработаны по восьмому качеству точности), резец 3 и деформирующий инструмент для нагружения ТС усилием деформирования, изменяющимся по гармоническому закону. Деформирующий инструмент выполнен в виде корпуса 4, державки 5 с цилиндрической цапфой 6, оси 7, подшипника 8, деформирующего ролика 9 с эксцентрично выполненным отверстием 10 и специального дина-

мометра, включающего основание 11, толкатель 12, пружину 13 и регулировочный винт 14. Державка 5 соединена с корпусом 4 осью 7 и имеет возможность поворота в плоскости резцедержателем 15. Поворот державки 5 ограничен упором 16, закрепленным на корпусе 4. Резец 3, корпус 4, основание 11 установлены в соответствующих пазах резцедержателя 15 и закреплены крепежными винтами 17.

Для контроля величины радиального биения обработанных шеек 2 эталонной детали 1 имеются индикатор 18 и магнитная стойка 19.

Методика проведения эксперимента.

Эталонную деталь 1 закрепляют в патроне станка и поджимают центром пиноли задней бабки. Рабочую поверхность деформирующего ролика 9 вводят в контакт с цилиндрической поверхностью детали 1. Посредством поворота винта 14 сжимают на соответствующую величину пружину 13 и нагружают деталь 1 (ТС) номинальной силой деформирования.

Устанавливают первую из исследуемых частот вращения шпинделя станка. Детали 1 сообщают вращение, а резцедержателю 15 – движение подачи S вдоль обрабатываемой поверхности. Резец 3 вступает в работу и срезает с поверхности шейки 2 слой металла с номинальной глубиной резания t . Одновременно с цилиндрической поверхностью детали 1 взаимодействует деформирующий ролик 9, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование. При этом деформирующий ролик 9 получает вращение от детали 1 и вращается вокруг продольной оси цилиндрической цапфы 6. Поскольку деформирующий ролик установлен на цапфе 6 с эксцентриситетом e , то за один оборот деформирующего ролика 9 державка 5 повернется на угол $\Delta\varphi$, а толкатель 12 сместится в осевом направлении основания 11 на величину, определяемую выражением

$$\Delta = \frac{OA \cdot e}{OB}, \quad (3.2)$$

где Δ – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, мм;

e – величина эксцентриситета деформирующего ролика, мм;

OA – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольных осей державки и толкателя динамометра, мм;

OB – расстояние от оси поворота державки до точки пересечения продольной оси державки с радиальной плоскостью симметрии деформирующего ролика, мм.

Тогда за один оборот деформирующего ролика 9 на ТС действует дополнительно динамическая сила, максимальную величину которой определяют из соотношения

$$P_{дин}(\omega) = c \cdot \Delta, \quad (3.3)$$

где $P_{дин}(\omega)$ – динамическая сила, действующая на ТС, Н;



c – жесткость пружины динамометра, Н/м;

Δ – величина дополнительного сжатия пружины динамометра, м.

Динамическая сила «раскачивает» ТС и вызывает упругие динамические отжаты детали 1 и резца 3. При этом резец 3, обрабатывая шейку 2, формирует поверхность с радиальным биением $y(\omega)$.

Все последующие шейки 2 эталонной детали 1 обрабатывают на остальных исследуемых частотах вращения шпинделя станка.

По окончании обработки станок останавливают и отводят инструмент в исходное положение. Магнитную стойку 19 устанавливают на поверхности суппорта станка. Ножку индикатора 18 вводят в контакт с обработанной шейкой 2. Повернув деталь на 360° (путем поворота шпинделя станка), определяют величину радиального биения поверхности шейки 2. Последовательно измеряют радиальное биение всех обработанных шеек 2 эталонной детали. Данные измерений заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчета динамической жесткости ТС

Номер обрабатываемой шейки	Частота вращения шпинделя станка, мин ⁻¹	Частота изменения динамической силы деформирования, с ⁻¹	Радиальное биение обработанной шейки, мкм	Динамическая жесткость ТС, Н/м	Средняя динамическая жесткость ТС, Н/м
	n	$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30d}$	$y(\omega)$	$j_{\omega_i} = \frac{P_{дин}(\omega)}{y(\omega)_i}$	$j_{д.ср} = \frac{j_{\omega_1} + j_{\omega_2} + \dots + j_{\omega_n}}{k}$
1					
2					
3					
4					
...					
k					

Динамическую жесткость ТС определяют по формуле (3.1), с учетом результатов измерений.

Величина радиального биения $y(\omega)$ обработанной шейки 2 фактически равна амплитуде относительных упругих колебаний детали 1 и резца 3, возникающих в ТС под действием динамической силы $P_{дин}(\omega)$. Так как все шейки 2 эталонной детали 1 обрабатывают на различных исследуемых частотах вращения шпинделя, то есть возможность построить амплитудно-частотную характеристику ТС.

Амплитудно-частотной характеристикой ТС называют зависимость амплитуды упругих колебаний системы от частоты изменения динамической силы 3, действующей на систему (рисунок 3.3).

Частота динамической силы $P_{дин}(\omega)$ связана с частотой вращения шпинделя станка следующей зависимостью:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_i \cdot D}{30d}, \quad (3.4)$$

где ω_i – частота изменения динамической силы, с^{-1} ;
 n_i – частота вращения шпинделя станка, мин^{-1} ;
 D – диаметр упрочняемой поверхности детали, мм;
 d – диаметр деформирующего ролика, мм.

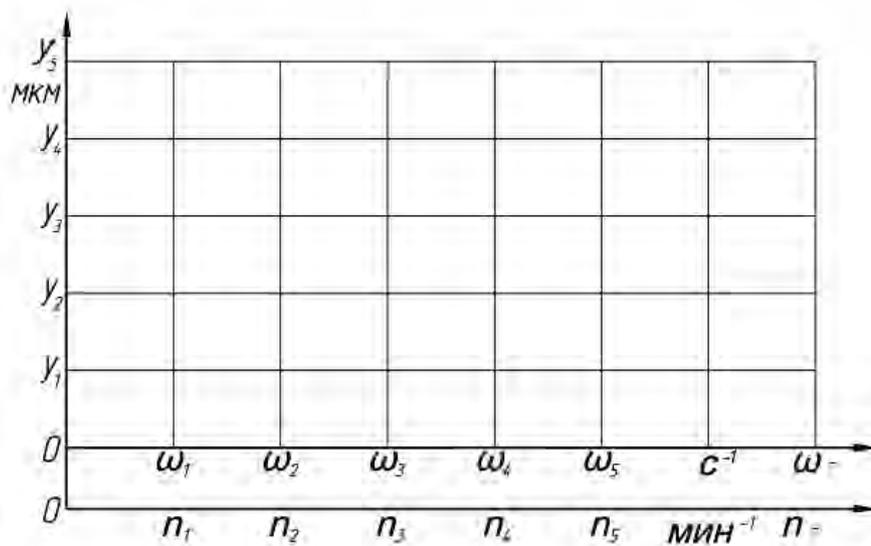


Рисунок 3.3 – Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика ТС

Полученная амплитудно-частотная характеристика ТС позволяет определить рациональную частоту вращения шпинделя, при которой обеспечиваются минимальные относительные колебания детали и режущего инструмента и, как следствие, повышение точности геометрической формы в продольном и поперечном сечениях обрабатываемой детали.

Порядок выполнения работы.

1 Установить эталонную деталь в патроне станка и поджать центром пиноли задней бабки.

2 Деформирующий инструмент закрепить в резцедержателе станка (см. рисунок 3.2).

3 Деформирующий ролик инструмента повернуть вокруг оси вращения, обеспечив максимальное удаление его рабочего профиля от упрочняемой поверхности эталонной детали.

4 Перемещением резцедержателя ввести рабочий профиль деформирующего ролика в контакт с упрочняемой поверхностью эталонной детали, обеспечив зазор $\delta = 1,5 \dots 2$ мм между боковой поверхностью державки 5 и упором 16 корпуса 4 (см. рисунок 3.1).

5 Посредством динамометра нагрузить ТС силой деформирования 200 Н.

6 Вставить резец в паз резцедержателя станка и установить его (по отношению к шейкам эталонной детали) на глубину резания $t = 0,5 \dots 1$ мм.

7 Обеспечить на станке продольную подачу инструмента $S = 0,15$ мм/об.

8 Установить на станке первую из исследуемых частот вращения шпинделя.

9 Детали сообщить вращение, а режущему и деформирующему инструментам – осевую подачу. Обработать первую шейку эталонной детали.

10 Аналогично обработать остальные шейки эталонной детали на исследуемых частотах вращения шпинделя станка.

11 Измерить радиальное биение $y(\omega)$ обработанных шеек эталонной детали. Данные измерений занести в таблицу 1.

12 Рассчитать величину динамической силы $P_{Дин}(\omega)$ по формуле (3.1).

13 Вычислить частоты ω_i изменения динамической силы деформирования для исследуемых частот n_i вращения шпинделя станка используя зависимость (3.3).

14 Рассчитать динамическую жесткость ТС для исследуемых частот вращения шпинделя станка по формуле (3.1) и найти среднюю величину динамической жесткости ТС.

15 Построить амплитудно-частотную характеристику ТС (см. рисунок 3.3).

16 Построить зависимость динамической жесткости ТС от частоты изменения динамической силы.

17 Составить отчет.

Содержание отчета

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Используемое оборудование и технологическая оснастка.

4 Эскиз установки для определения динамических характеристик ТС.

5 Таблица результатов измерений и расчета динамической жесткости ТС (см. таблица 3.1).

6 Графики зависимостей (см. рисунок 3.3).

7 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Что называется динамической жесткостью технологической системы (ТС)?

2 Как определяется динамическая жесткость ТС?

3 Как получить амплитудно-частотную характеристику ТС?

4 Зависит ли динамическая жесткость ТС от частоты изменения динамической силы, действующей на систему?

5 Как зависит динамическая жесткость ТС от величины действующих на ТС сил?



4 Исследование упругосилового метода комбинированной обработки шейки вала

Цель работы: выполнить анализ существующих схем совмещенной обработки резанием и ППД. Ознакомиться с новым упругосиловым методом комбинированной обработки. Выявить технологические возможности упругосилового метода комбинированной обработки. Дать рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению шеек вала, под подшипники, а также одновременной обработке двух шеек по краям вала.

Применяемое оборудование, приборы и инструменты.

1 Токарно-винторезный станок 16Д25.

2 Специальный деформирующий инструмент для упрочняющей обработки.

3 Резец специальный Т15К6.

4 Заготовки для проведения эксперимента: диаметр – 60 мм, длина – 200 мм, диаметр обрабатываемых шеек вала – 41 мм, длина шеек – 25 мм. Количество заготовок: первая партия – 10 шт. (сталь 40Х); вторая партия – 10 шт. (Д16Т).

5 Стойка магнитная.

6 Индикатор часового типа ИЧ-02 кл. 0 ГОСТ 577–68, цена деления – 0,002 мм.

Режимы обработки: $V = 80$ м/мин; $P_{\text{Деф.н}} = 800$ Н, диаметр деформирующего элемента – 6 мм.

Методика проведения эксперимента.

1 Закрепить корпус 1 инструмента в резцедержателе, а деталь 2 – в центрах станка (рисунок 4.1).

2 Подвести деформирующий элемент 3 в контакт с поверхностью шейки детали 2.

3 С диаметрально противоположной стороны детали 2 установить магнитную стойку и ввести ножку индикатора в контакт с поверхностью шейки.

4 Нагрузить деталь последовательно силой деформирования 25, 50, 75, 100, 125, 150 Н посредством поворота винта 7 деформирующего устройства и соответствующего сжатия силовой пружины 5. После каждого нагружения детали указанной силой деформирования индикатором фиксировать величину упругого смещения детали. Данные измерений внести в таблицу 4.1.

5 Рассчитать величину средней жесткости центров станка j .

6 Рассчитать величину настроечного размера N режущего инструмента по формуле

$$N = \frac{D_{\text{ср}}}{2} + \frac{P_{\text{Деф.н}}}{j},$$

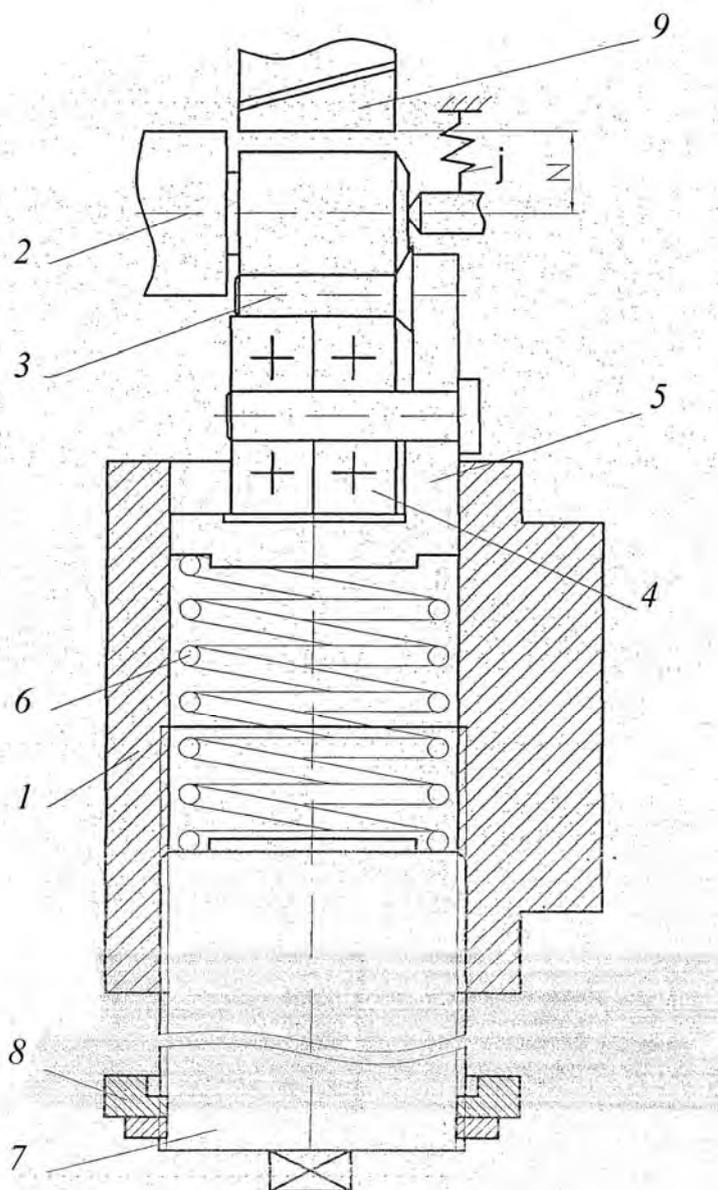


где D_{cp} – средний диаметр обработки;

$D_{Def.n}$ – номинальная величина силы деформирования, Н;

j – экспериментальное значение жесткости центров станка, Н/мм.

$$D_{cp} = (D_{max} + D_{min}) / 2.$$



1 – корпус; 2 – деталь; 3 – деформирующий элемент; 4 – подшипниковая опора; 5 – ползун; 6 – силовая пружина; 7 – винт; 8 – упор; 9 – режущий инструмент

Рисунок 4.1 – Схема упругоилового метода комбинированной обработки

7 Закрепить режущий инструмент в специальном резцедержателе станка и обеспечить размер настройки N .

8 Заготовку установить в центрах станка и сообщить ей вращательное движение. Поворотом винта 7 ввести в контакт с поверхностью шейки деформирующий элемент 3 и нагрузить деталь силой деформирования $P_{Def.n}$. При этом упор 8 инструмента упирается в корпус 1. В процессе нагружения детали

силой деформирования деталь с обрабатываемой поверхностью упруго смещаются на режущий инструмент 9. При этом резец 9 калибрует поверхность в размер, а деформирующий элемент 3 осуществляет окончательную отделочно-упрочняющую обработку.

Таблица 4.1 – Величины упругих отжатий под действием силы деформирования

Сила нагружения, Н	Величина упругих отжатий, мкм	Средняя жесткость центров станка j , н/мкм
25		
50		
75		
100		
125		
150		

9 Обработать аналогично шейки деталей первой и второй партий.

10 Выполненные замеры диаметральных размеров обработанных поверхностей внести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерений диаметра обработанных шеек

Номер партии		D , мм	6σ
Партия первая	1		
	...		
	10		
Партия вторая	1		
	...		
	10		

11 С помощью методов математической статистики определить поле рассеивания размеров обработанных поверхностей и сделать выводы по точностным возможностям разработанного метода.

12 Дать рекомендации по усовершенствованию упругосилового метода комбинированной обработки резанием и ППД применительно к упрочнению шеек под подшипники длинных валов, а также одновременной обработке шеек по краям вала.

13 Из числа предложенных технических решений по усовершенствованию метода обработки выбрать наиболее значимое.

14 Совместно с преподавателем составить формулу изобретения патентуемого технического решения.



Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Применяемое оборудование и инструмент.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Таблицы результатов измерения.
- 5 Графическое изображение результатов эксперимента.
- 6 Анализ полученных результатов и выводы по работе.
- 7 Формула изобретения патентуемого технического решения.

Контрольные вопросы

- 1 Какие разновидности схем совмещенной обработки деталей резанием и ППД Вам известны?
- 2 В чем состоит сущность упруго-силового метода комбинированной обработки резанием и ППД?
- 3 Назовите основное отличие упруго-силового метода комбинированной обработки от традиционных схем совмещенной обработки резанием и ППД.
- 4 Какие преимущества обеспечивает упруго-силовой метод комбинированной обработки?
- 5 Выберите целесообразную область применения разработанного метода отделочно-упрочняющей обработки.

5 Расчет способа точной поднастройки режущего инструмента при растачивании

Цель работы: ознакомиться с методами адаптивного управления точностью механической обработки деталей. Оценить возможность управления точностью растачивания отверстия втулки за счет регулировочного изменения углового расположения режущего инструмента. Дать предложения по разработке новых методов управления точностью обработки деталей машин.

Применяемое оборудование и измерительные инструменты.

- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Специальный инструмент для расточки отверстия и регулирования углового положения резца.
- 3 Нутромер индикаторный (ГОСТ 868–82) (точность измерения – 0,002 мм).
- 4 Обрабатываемая деталь – втулка. Материал – сталь 45 (ГОСТ 1050–74), твердость – 180...200 НВ. Размеры $D \times d \times B$ соответственно: $80 \times 50 \times 30$ мм; исходная точность обработки отверстия втулки – Н7.
- 5 Материал режущей части резца для расточки отверстия Т15К6.



Схема экспериментальной установки.

Экспериментальная установка (рисунок 5.1) включает: токарно-винторезный станок; специальный инструмент для расточки отверстия и регулирования углового положения резца; самоцентрирующийся трехкулачковый патрон; обрабатываемую деталь.

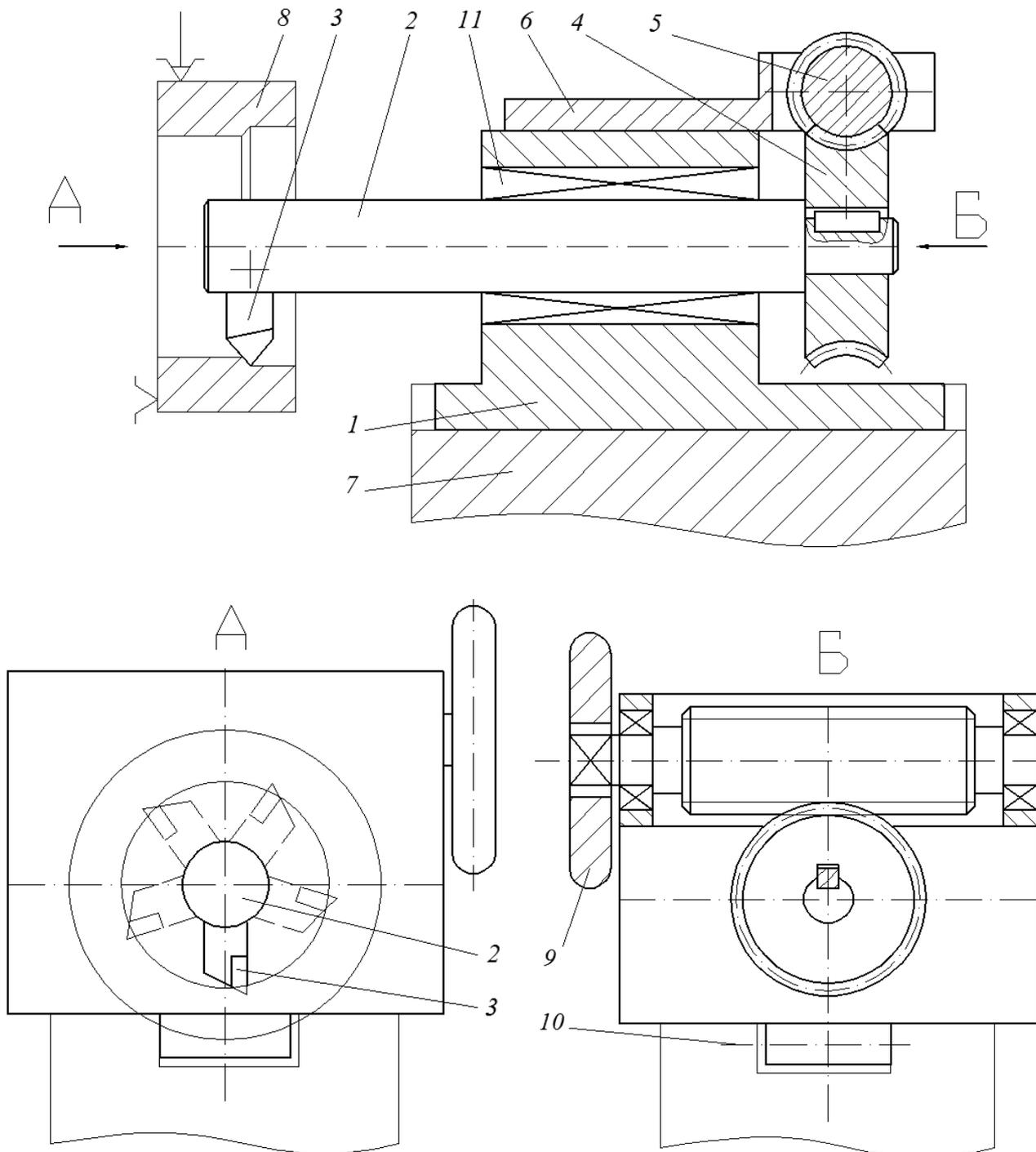


Рисунок 5.1 – Схема экспериментальной установки

Основные элементы экспериментальной установки: 1 – корпус инструмента; 2 – расточная оправка; 3 – резец; 4 – червячное колесо; 5 – червяк; 6 – корпус червяка; 7 – резцедержатель; 8 – обрабатываемая деталь; 9 – маховик; 10 – крепежные винты; 11 – подшипниковая опора.

Методика проведения эксперимента.

1 В резцедержателе 7 станка закрепить корпус 1 инструмента.

2 Установить и закрепить деталь 8 в патроне станка.

3 Перемещением резцедержателя 7 ввести резец 3 инструмента в отверстие обрабатываемой детали 8.

4 Установить технологические режимы расточки отверстия: $v = 60$ м/мин, $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,5$ мм.

5 Поворотом маховика 9 инструмента расположить резец 3 в горизонтальной плоскости.

6 На указанной угловой настройке расточить отверстие партии втулок в количестве 5 шт.

7 Нутромером измерить диаметры отверстий расточенных образцов и занести данные измерений в таблицу 5.1.

8 Поворотом маховика 9 последовательно установить следующие углы расположения резца: 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360°.

9 На указанных углах расположения резца 3 выполнить п. 6 и 7 представленной методики.

Таблица 5.1 – Результаты измерений диаметров отверстий втулок, обработанных при различном угловом расположении резца инструмента

Угол поворота резца α , град	Диаметр отверстия втулки D , мм					Средний диаметр расточенного отверстия D_{cp} , мм
	1	2	3	4	5	
0						
45						
90						
135						
180						
225						
270						
315						
360						

Обработка результатов эксперимента.

1 Построить график зависимости точности получения диаметрального размера обработанной втулки от величины угла расположения резца инструмента (рисунок 5.2).

2 Сделать выводы о влиянии угла расположения резца инструмента на точ-



ность получения диаметрального размера отверстия втулки при растачивании.

3 Дать предложения по разработке метода управления точностью обработки за счет регулировочного изменения угла расположения резца инструмента.

4 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

Содержание отчета

1 Наименование работы.

2 Цель работы.

3 Схема экспериментальной установки.

4 Применяемое оборудование и инструменты.

5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.

6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

мкм									
0	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°	

$D_{ном}$

Рисунок 5.2 – График зависимости точности получения диаметрального размера втулки от угла расположения резца

Контрольные вопросы

1 В чем заключается сущность методов адаптивного управления точностью механической обработки деталей?

2 Чем обусловлено изменение диаметра растачиваемых втулок (т. е. размера динамической настройки резца) при установке различных углов расположения резца инструмента?

3 Чем объясняется наличие в технологической системе оси наибольшей и наименьшей жесткости?

4 Как искусственно обеспечить неравномерную угловую жесткость технологической системы?



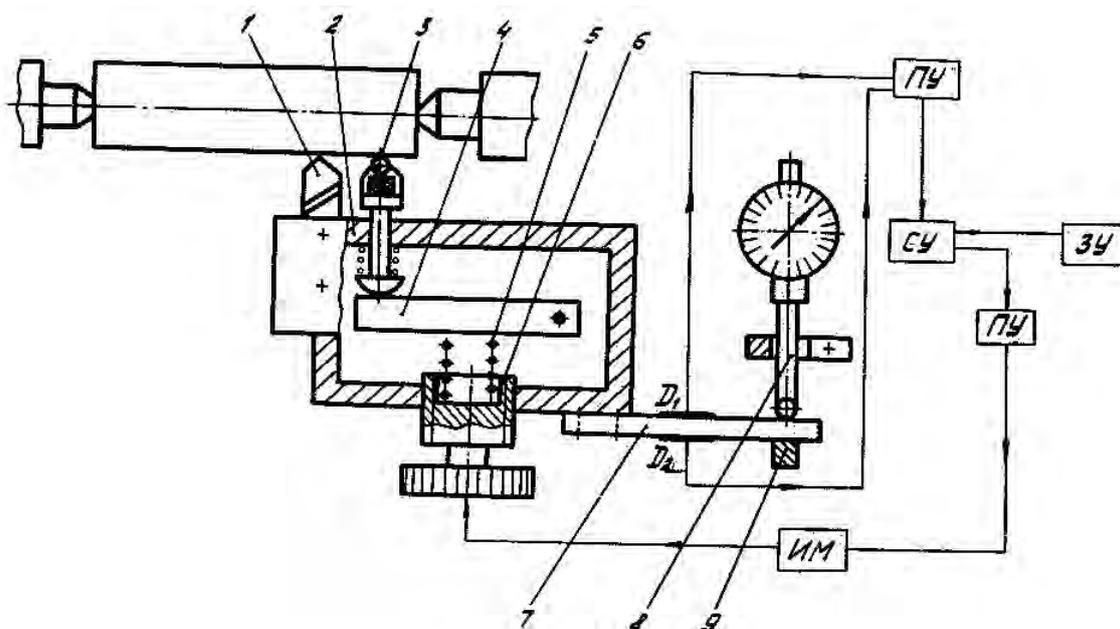
6 Методы управления точностью при совмещенной обработке деталей резанием и ППД

Цель работы: ознакомиться с методами адаптивного управления точностью обработки. Выяснить особенности управления точностью при совмещенной обработке деталей резанием и ППД. Дать предложения по выбору регулируемых параметров процесса совмещенной обработки. Разработать новый способ управления точностью при совмещенной обработке резанием и ППД.

Применяемое оборудование и измерительные инструменты.

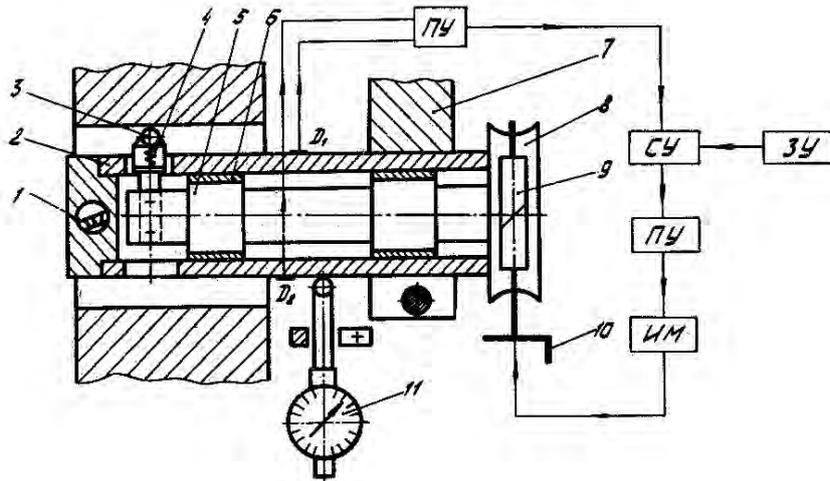
- 1 Токарно-винторезный станок 16Д25.
- 2 Управляемый комбинированный инструмент.
- 3 Обрабатываемая деталь – вал. Материал – сталь 45 (180...200 НВ). Размеры $D \times \ell$ – 40 × 200 мм. Исходная точность обработки – $\varnothing 40h 10$.

На рисунках 6.1–6.3 представлены схемы адаптивного управления точностью при совмещенной обработке резанием и ППД.



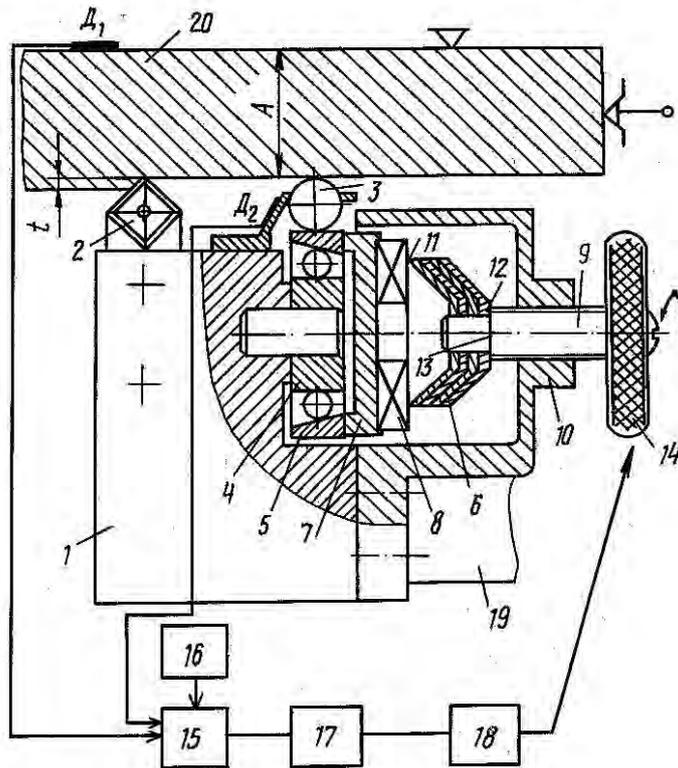
1 – резец; 2 – корпус; 3 – деформирующий элемент; 4 – рычаг; 5 – пружина; 6 – регулировочный винт; 7 – упругая балка; 8 – индикатор; 9 – магнитная стойка; СУ – сравнивающее устройство; ЗУ – задающее устройство; ПУ – промежуточный усилитель; ИМ – исполнительный механизм

Рисунок 6.1 – Принципиальная схема адаптивного управления точностью при совмещенной обработке за счет изменения величины силы деформирования



1 – резец; 2 – пустотелый корпус; 3 – деформирующий шарик; 4 – пружина; 5 – оправка; 6 – подшипниковая опора; 7 – державка; 8 – червячное колесо; 9 – червяк; 10 – рукоятка; СУ – сравнивающее устройство; ЗУ – задающее устройство; ПУ – промежуточный усилитель; ИМ – исполнительный механизм

Рисунок 6.2 – Адаптивная схема управления точностью при совмещенной обработке резанием и ППД за счет изменения величины и направления действия силы деформирования



1 – корпус; 2, 3 – режущий и деформирующие элементы соответственно; 4 – радиально-упорный подшипник; 5 – внешнее кольцо подшипника; 6 – упругий элемент; 7 – пята; 8 – упорный подшипник; 9 – винт; 10 – гайка; 11, 12 – торцы упругого элемента; 13 – опорная поверхность винта; 14 – маховик; 15 – сравнивающее устройство; 16 – задающее устройство; 17 – усиливающее устройство; 18 – исполнительный механизм; 19 – резцедержатель; 20 – деталь

Рисунок 6.3 – Способ адаптивного управления точностью при совмещенной обработке за счет изменения жесткости деформирующего узла инструмента

Методика проведения эксперимента.

- 1 Закрепить заготовку в центрах, а корпус комбинированного инструмента – в резцедержателе.
- 2 Настроить технологическую систему в соответствии с рисунком 6.1.
- 3 Осуществить обработку партии заготовок на настроенном станке, имеющих различный припуск на обработку без адаптивного управления точностью.
- 4 Выполнить обработку партии заготовок на настроенном станке и имеющих различный припуск на обработку с адаптивным управлением точностью за счет изменения величины силы деформирования.

Обработка результатов эксперимента:

- сравнить точность получения диаметрального размера заготовок при обработке указанными способами;
- дать предложения по разработке метода управления точностью при совмещенной обработке резанием и ППД;
- составить заявку на предполагаемое изобретение.

Содержание отчета

- 1 Наименование работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Применяемое оборудование и инструменты.
- 5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.
- 6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается сущность методов адаптивного управления точностью механической обработки?
- 2 Назовите особенности методов управления точностью при совмещенной обработке деталей резанием и ППД.
- 3 Какой параметр процесса совмещенной обработки резанием и ППД может быть выбран в качестве регулируемого?
- 4 Какие методы измерения точности обрабатываемых заготовок Вам известны?
- 5 В чем заключаются преимущества и недостатки совмещенной обработки заготовок резанием и ППД?



7 Конструирование, изготовление и исследование динамометра для статического нагружения формообразующих элементов технологического оборудования

Цель работы: ознакомиться с существующими конструкциями динамометров для нагружения узлов металлорежущих станков с целью определения их жесткости. Выявить недостатки существующих конструкций динамометров. Дать предложения по усовершенствованию конструкции динамометра.

Применяемое оборудование и измерительные инструменты.

- 1 Модель металлорежущего станка (токарного, фрезерного, сверлильного, шлифовального, строгального, зубофрезерного).
- 2 Конструкция нагрузочного устройства с динамометром.
- 3 Стойка магнитная.
- 4 Индикатор часового типа ИЧ (ГОСТ 577–68), $c = 0,002$ мм.
- 5 Контрольная оправка.

На рисунке 7.1 представлены существующие разновидности нагрузочных устройств [2].

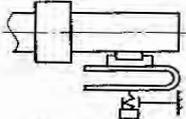
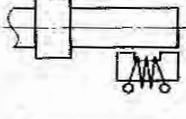
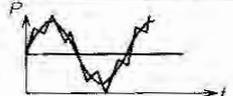
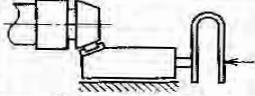
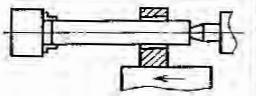
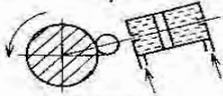
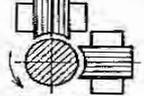
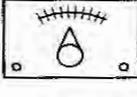
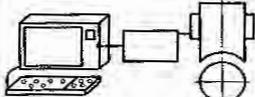
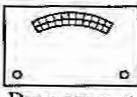
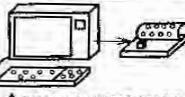
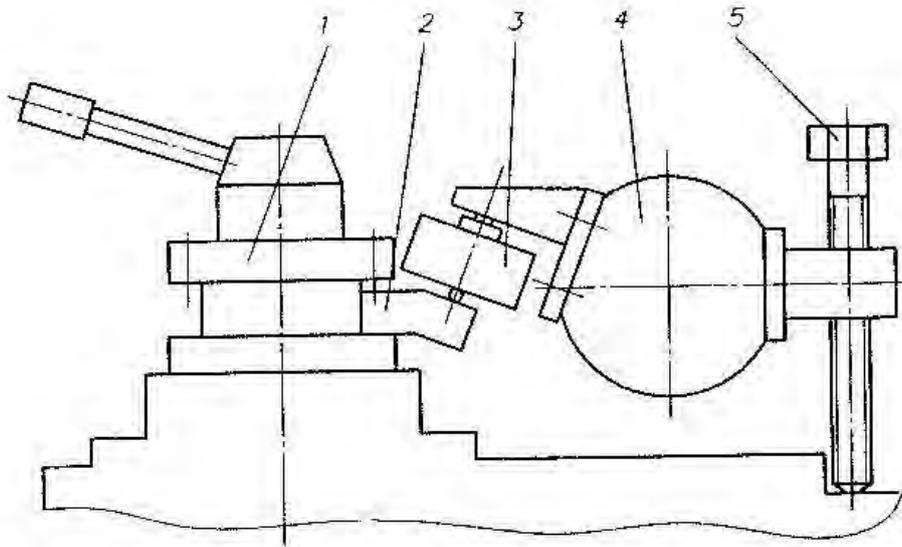
Характеристика создаваемых нагрузок	Нагрузочное устройство	
	для отдельных испытаний	для программного метода
Метод создания сил	 Контактный	 Бесконтактный
Характер усилий	 Статический	 Динамический
Точка приложения сил	 Неподвижная	 Перемещается
Направление вектора сил	 Постоянно	 Переменно
Управление нагрузкой	 Ручное	 Автоматическое
Регистрация значений сил	 Визуальное	 Автоматическое

Рисунок 7.1 – Классификация нагрузочных устройств

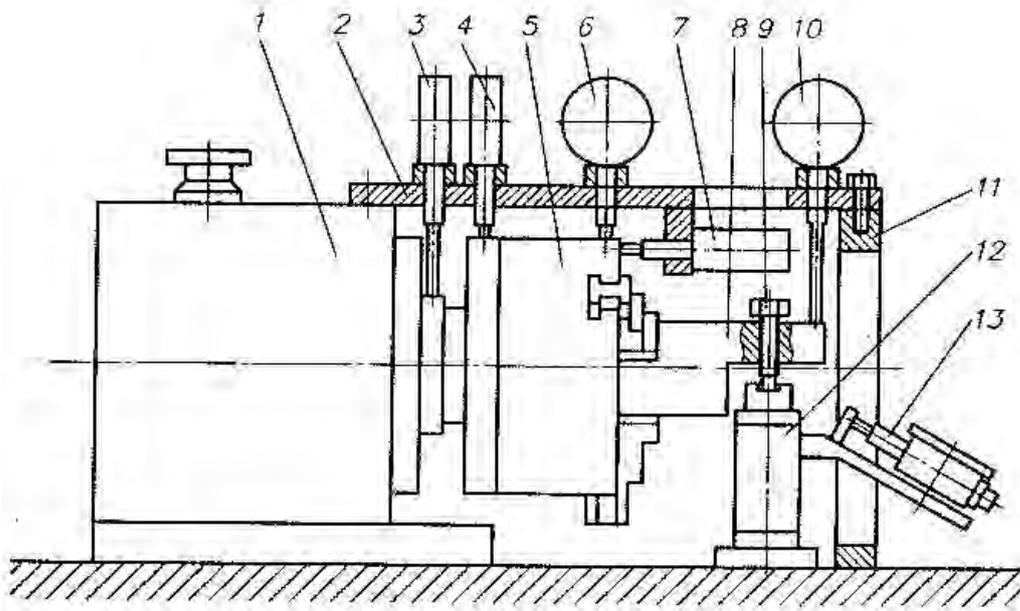
На рисунке 7.2 представлена схема устройства нагружения для определения жесткости шпиндельного узла токарного станка.



1 – резцедержатель; 2 – резец; 3 – динамометр; 4 – корпус устройства, установленный в центрах станка; 5 – регулировочный винт

Рисунок 7.2 – Схема устройства нагружения для определения жесткости шпиндельного узла токарного станка

На рисунке 7.3 представлена установка для измерения жесткости токарного станка.



1 – станина; 2 – пластина; 3, 4, 6, 7, 10, 13 – индикаторы; 5 – патрон; 8 – специальная заготовка; 9 – винт; 11 – стойка; 12 – динамометр сжатия

Рисунок 7.3 – Установка для измерения жесткости токарного станка

Методика проведения эксперимента.

1 В соответствии с заданием, для определения жесткости элементов станка указанной модели, выбрать схему нагружения и разработать усовершенствованную конструкцию динамометра.

2 Составить заявку на предполагаемое изобретение.

Содержание отчета

1 Наименование работы.

2 Цель работы.

3 Схема экспериментальной установки.

4 Применяемое оборудование и инструменты.

5 Анализ результатов исследования и выводы по работе.

6 Материалы заявки на предполагаемое изобретение.

7 Схемы предлагаемых динамометров (для установки в центрах станка; для закрепления в патроне станка).

Контрольные вопросы

1 Какие разновидности нагрузочных устройств для определения жесткости элементов станка Вам известны?

2 В чем состоит сущность методики определения жесткости элементов металлорежущего станка?

3 Как определяется статическая жесткость элементов станков различных групп?

4 В чем заключаются особенности нагрузочных устройств для определения жесткости станков различных групп?

5 В чем заключается преимущество разработанного Вами динамометра?

8 Исследование процесса магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей деталей технических систем

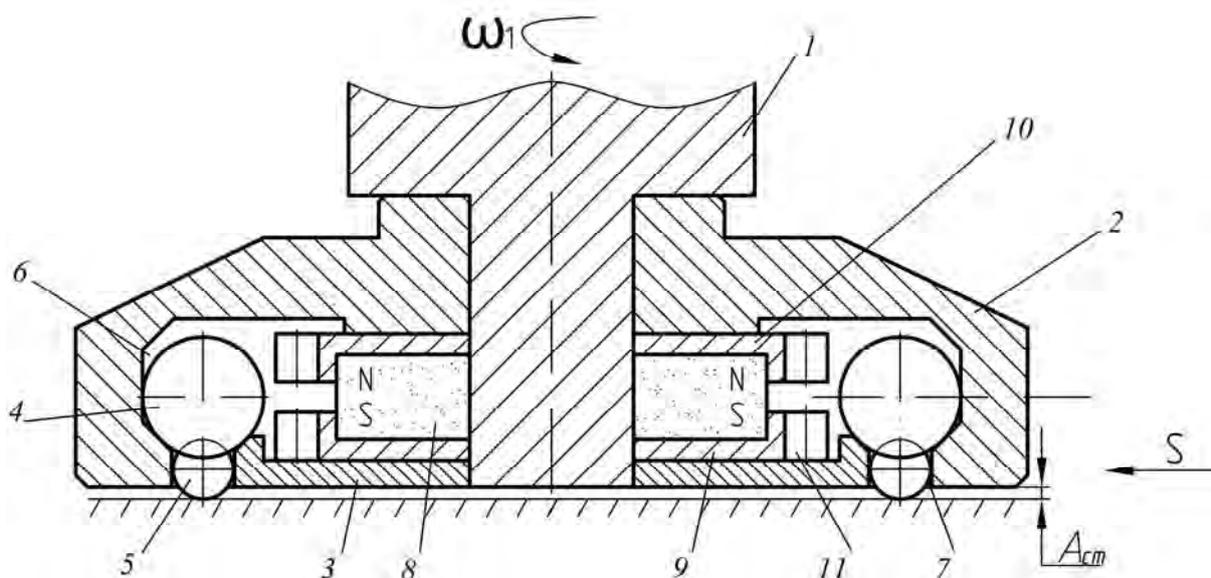
Цель работы: выполнить анализ существующих методов поверхностного пластического деформирования (ППД) плоских поверхностей. Ознакомиться с методом магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей с применением двухрядных инструментов и магнитным приводом деформирующих шаров. Выявить технологические возможности двухрядных магнитно-динамических инструментов. Дать рекомендации по усовершенствованию конструкции инструмента для магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей.

Применяемое оборудование, приборы и инструменты.

1 Вертикально-фрезерный станок ВФ130.

2 Двухрядный магнитно-динамический инструмент (рисунок 8.1).





1 – оправка, 2 – корпус, 3 – шайба, 4 – шары-ударники, 5 – деформирующие шары, 6 и 7 – кольцевые камеры для размещения шаров-ударников и деформирующих шаров, 8 – источник магнитного поля (постоянный кольцевой магнит), 9, 10 – диски из магнитопроводного материала, 11 – зубья

Рисунок 8.1 – Схема инструмента для магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей

Характеристика инструмента: деформирующие элементы – шары диаметром 12 мм (сталь ШХ15, 62...65 HRC, шары-ударники – шары диаметром 15 мм (сталь ШХ15, 62...65 HRC). Количество шаров-ударников – 15 шт., количество деформирующих шаров – 30 шт. Источник магнитного поля для разгона шаров-ударников – кольцевой постоянный магнит с размерами ($D \times d \times h$) 80 × 34 × 15 мм. Материал магнита – SmCo5. Величина магнитной индукции в зоне расположения шаров-ударников – 0,3 Тл.

3 Характеристика упрочняемой детали:

- размеры: ширина – 190 мм, длина – 300 мм, высота – 10 мм;
- материал: сталь 45 (230...240 НВ), ГОСТ 1050–88;
- исходная шероховатость поверхности: R_a 1,6...3,2 мкм.

4 Профилометр-профилограф модели SurfTest SJ-210.

Методика проведения эксперимента.

1 Закрепить инструмент в шпинделе, а деталь – на столе станка.

2 Подвести инструмент к обрабатываемой детали. Установить размер статической настройки A_{cm} – величину перекрытия положения вершин (натяга) шаров-ударников и деформирующих шаров инструмента.

3 Осуществить упрочнение заготовки на различных режимах (таблица 8.1).

4 Снять деталь и произвести измерение шероховатости упрочненных участков детали (пять измерений в каждой точке). Среднее значение измерений шероховатости упрочненных участков детали свести в таблицу 8.2.

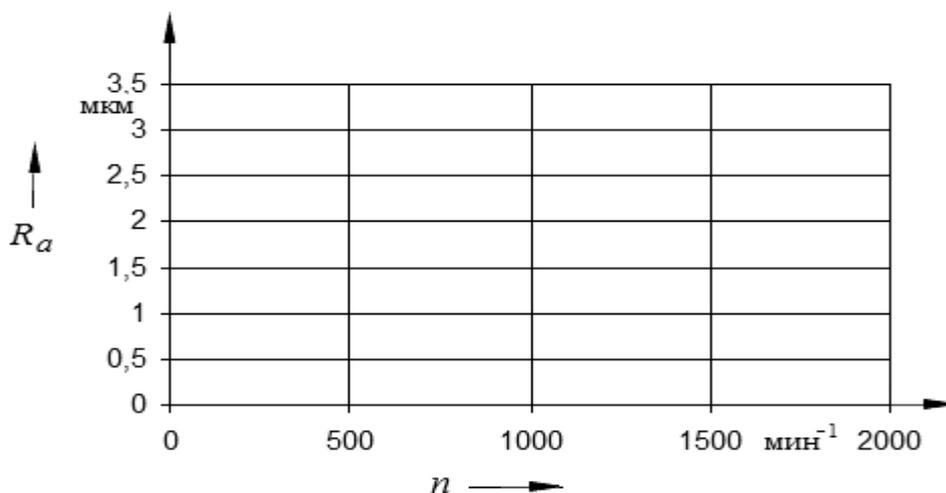
Таблица 8.1 – Режим резания для экспериментов

Частота вращения инструмента, мин ⁻¹ (подача 200 мм/мин)	Подача, мм/мин (частота вращения инструмента 1600 мин ⁻¹)
$n_1 = 400$	$S_1 = 20$
$n_2 = 560$	$S_2 = 50$
$n_3 = 800$	$S_3 = 100$
$n_4 = 1120$	$S_4 = 200$
$n_5 = 1600$	$S_5 = 400$

Таблица 8.2 – Результаты измерений шероховатости упрочненной детали

Частота вращения инструмента, мин ⁻¹ (подача 200 мм/мин)	Шероховатость поверхности R_a , мкм
$n_1 = 400$	
$n_2 = 560$	
$n_3 = 800$	
$n_4 = 1120$	
$n_5 = 1600$	
Подача, мм/мин, (частота вращения инструмента 1600 мин ⁻¹)	Шероховатость поверхности R_a , мкм
$S_1 = 20$	
$S_2 = 50$	
$S_3 = 100$	
$S_4 = 200$	
$S_5 = 400$	

5 Построить графики зависимости шероховатости поверхности от режимов n , S магнитно-динамического упрочнения (рисунки 8.2 и 8.3).

Рисунок 8.2 – График зависимости шероховатости поверхности от частоты вращения инструмента n 

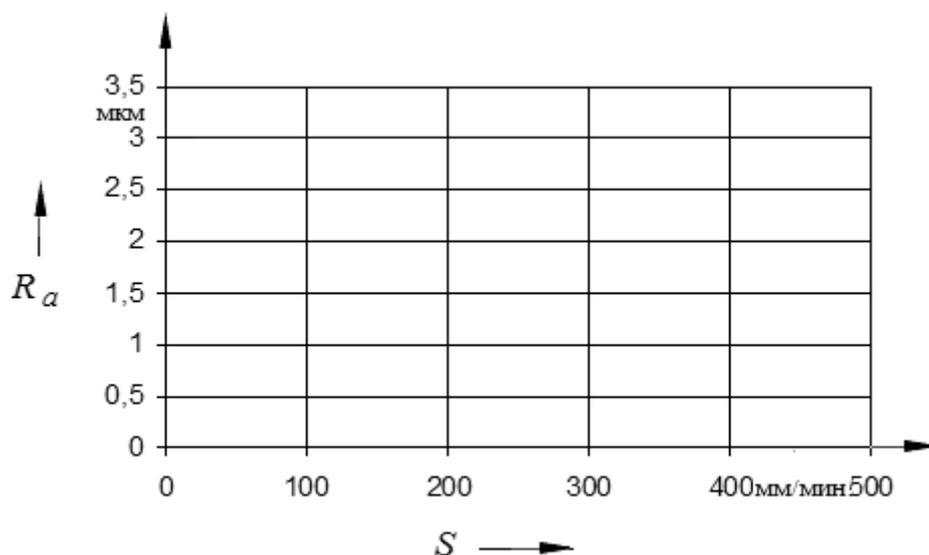


Рисунок 8.3 – График зависимости шероховатости поверхности от подачи S

6 Дать рекомендации по усовершенствованию магнитной системы инструмента для магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Применяемое оборудование и инструмент.
- 3 Схема экспериментальной установки.
- 4 Таблица результатов измерения шероховатости поверхности.
- 5 Графическое изображение влияния режимов упрочнения на шероховатость поверхности.
- 6 Анализ полученных результатов.
- 7 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какие способы обработки поверхностным пластическим деформированием плоских поверхностей Вам известны?
- 2 В чем состоит сущность магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей?
- 3 Какие преимущества имеет метод магнитно-динамического упрочнения?
- 4 Выберите целесообразную область применения магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей.
- 5 Как влияют режимы обработки на шероховатость упрочняемой поверхности детали?
- 6 Назовите основные конструктивные особенности двухрядных магнитно-динамических инструментов для упрочнения плоских деталей.
- 7 Какую функцию выполняет магнитная система инструмента?

8 Как повысить производительность магнитно-динамического упрочнения плоских поверхностей?

Список литературы

1 **Чистосердов, П. С.** Совмещенная обработка резанием и поверхностным пластическим деформированием / П. С. Чистосердов, В. В. Радьков. – Москва : УТПМ, 1992. – 83 с.

2 **Юркевич, В. В.** Испытания, контроль и диагностика металлорежущих станков / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 522 с.

3 **Орликов, М. Л.** Динамика станков / М. Л. Орликов. – Киев : Выща школа, 1989. – 272 с.

4 Способ исследования динамических характеристик технологической системы и комбинированный инструмент для его осуществления : а. с. 1738615 / А. М. Довгалев [и др.]. – № 4745131/27. – Оpubл.07.06.92.

5 Способ комбинированной обработки шейки вала : пат. 14935 / А. М. Довгалев, С. Н. Близнюк. – Оpubл. 30.04.2011.

6 Инструмент для поверхностного пластического деформирования: пат. 14535 / А. М. Довгалев, С. Н. Близнюк. – Оpubл. 28.02.2011.

7 Способ поверхностного пластического деформирования поверхности вращения и инструмент для его осуществления : пат. 2052331 РФ / А. М. Довгалев. – Оpubл. 20.01.1996.

8 **Шнейдер, Ю. Г.** Инструменты для чистовой обработки металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. – Ленинград : Машиностроение, 1971. – 248 с.

9 Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоскостей : пат. 14651 / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 30.08.2011.

