

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса

Направление: Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Профиль: Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования

Кафедра: Общеинженерные дисциплины

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

На тему: Проектирование технологического процесса изготовления
вала-червяка с разработкой люнета

Шифр ВКР 23.03.03.268.20

Студент группы Б252-04


подпись

Хайруллина Н.Р.
Ф.И.О.

Руководитель доцент
ученое звание


подпись

Марданов Р.Х.
Ф.И.О.

Допущен к защите (протокол заседания кафедры № 13 от 16.06.2020)

Зав. кафедрой доцент
ученое звание


подпись

Пикмуллин Г.В.
Ф.И.О.

Казань – 2020

ФГБОУ ВПО Казанский государственный аграрный университет

Институт механизации и технического сервиса

Направление: Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Профиль: Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования

Кафедра: Общеинженерные дисциплины

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой

Пикмуллин Г.В./

« 16 » мая 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студенту Хайруллиной Нигоре Ринатовне

1. Тема: Проектирование технологического процесса изготовления вала-червяка с разработкой люнета

утверждена приказом по ВУЗу № _____ от _____ 2020 г.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 15.06.20

3. Исходные данные:

Типовые проекты цехов по механической обработке, специальная техническая литература

4. Перечень подлежащих разработке вопросов _____

Раздел 1 Основные положения по проектированию и организации производства

Раздел 2 Проектирование технологии изготовления

Раздел 3 Проектирование приспособления

Раздел 4 Безопасность жизнедеятельности

Раздел 5 Экономическое обоснование конструкции

5. Перечень графических материалов _____
 Лист 1 Чертеж заготовки и детали _____
 Лист 2 Технокарты на изготовление _____
 Лист 3 Обзор конструкций _____
 Лист 4 и 5 Чертежи конструкции приспособления _____
 Лист 6 Экономическое обоснование _____

6. Консультанты с указанием соответствующих разделов ВКР

Раздел	Консультант
Конструктивная часть	Марданов Р.Х.
Безопасность жизнедеятельности	Гаязиев И.Н.
Экономика	Сафиуллин И.Н.

7. Дата выдачи задания _____ 12.06.20 _____

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов	Срок выполнения	Примечание
1	Раздел 1	до 20.05.2020	
2	Раздел 2	до 05.06.2020	
3	Раздел 3	до 12.06.2020	
4	Разделы 4 и 5	до 15.06.2020	

Студент

_____  _____ (Хайруллина Н.Р.)

Руководитель

_____  _____ (Марданов Р.Х.)

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе
Хайруллиной Нигоры Ринатовны на тему:
Проектирование технологического процесса
изготовления вала-червяка с разработкой
люнета

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 81 листах машинописного текста и графической части на 6 листах формата А1.

Пояснительная записка состоит из введения, пяти разделов и включает 9 рисунков, 8 таблиц, 1 приложения. Список использованной литературы содержит 53 наименования.

В первом разделе дана характеристика детали и его служебное назначение.

Во втором разделе, на основе исходных данных проведен технологический расчет изготовления. Произведен расчет основных параметров технологического процесса.

В третьем разделе разработана конструкция люнета. Произведены необходимые конструктивные и технологические расчеты.

В четвертом разделе спроектированы мероприятия по безопасности жизнедеятельности на производстве при металлообработке.

В пятом разделе дано экономическое обоснование конструкции приспособления. Подсчитан экономический эффект от внедрения и срок окупаемости капитальных вложений.

Записка завершается выводами и предложениями.

ABSTRACT

to the final qualifying work of Khairullina Nigora Renatovna on the theme: Design of the technological process of manufacturing the worm shaft with the development of the lunette

The final qualifying work consists of an explanatory note on 81 sheets of typewritten text and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The note consists of an introduction, five sections, conclusions and includes 9 figures, 8 tables, 1 Annex. The list of references contains 53 titles.

In the first section, the characteristic of the parts and a service appointment.

In the second section, on the basis of the data carried out technological calculation of manufacture. The calculation of the main parameters of the technological process.

In the third section, the design of the lunette. The necessary design and technological calculations have been made.

In the fourth section, measures for the safety of life in the production of Metalworking are designed.

The fifth section provides an economic justification for the design of the device. The economic effect of the introduction and the payback period of capital investments are calculated.

The note concludes with conclusions and suggestions.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТАЛИ.....	8
1.1 Основы разработки технологических процессов	8
1.2 Построение технологического маршрута.....	10
1.3 Анализ технологичности конструкции детали.	14
1.4 Определение типа производства	14
1.5 Определение количества деталей в партии.....	15
1.6 Выбор и экономическое обоснование способов получения заготовки.....	15
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА-ЧЕРВЯКА	16
2.1. Выбор технологических баз и разработка маршрутной технологии... 16	16
2.2 Выбор технологического оборудования, приспособлений, режущего и мерительного инструмента	19
2.2.1 Токарная обработка	19
2.2.2 Фрезерная обработка	19
2.2.3 Шлифовальная обработка	19
2.3 Установление режимов резания	20
2.3.1 Токарная операция.....	20
2.3.2 Фрезерная операция.....	26
2.3.3 Шлифовальная операция.....	28
2.4 Расчет штучно-калькуляционного времени	30
2.4.1 Токарная обработка	30
2.4.2 Фрезерная обработка	32
2.4.3 Шлифовальная обработка	33
2.4.4 Определение общего штучно-калькуляционного времени при изготовлении детали	36
2.5. Брак при обтачивании цилиндрических поверхностей и меры его предупреждения	37

2.6 Техника безопасности при обтачивании цилиндрических поверхностей.....	38
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЮНЕТА	40
3.1 Обзор существующих конструкций.....	41
3.2. Проектирование неподвижного люнета	45
3.4. Конструктивные расчеты	48
3.4.1 Расчет точности приспособления.....	48
3.4.2 Расчёт и выбор посадок подшипников качения	51
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	57
4.1 Организационно-технические пути предупреждения несчастных случаев при работе на металлорежущих станках	57
4.2 Основные положения по организации воздухообмена.....	61
4.3 Расчет вентилятора	63
4.4 Инструкция по безопасности труда при изготовлении опоры.....	64
4.5 Производственная гимнастика на рабочем месте	67
5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ.....	72
5.1 Расчет балансовой стоимости приспособления.....	72
5.2 Расчет технико-экономических показателей эффективности конструкции	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ... ..	82

ВВЕДЕНИЕ

Изготовление машины начинается с момента, когда исходным материалам начинают придавать геометрические параметры и физико-механические свойства, требуемые для данной машины, иначе говоря с изготовления заготовок ее деталей, и завершается испытанием машины. В столь широкой области находит применение много разных по физической сущности и необходимому оборудованию процессов переработки, обработки и соединения материалов и полуфабрикатов: различные виды литья, обработки давлением, резанием, электрообработки, термической обработки, сборки, сварки, пайки, поверхностных покрытий и т. д. Все эти процессы изучаются в учебных курсах, которые по отношению к технологии машиностроения являются базовыми.

Совокупность методов, обеспечивающая все заданные параметры предмета, представляет собой технологический процесс его изготовления. Отсюда — наиболее общее определение дисциплины: «технология машиностроения» является учением о технологических процессах изготовления машин.

Проектирование технологического процесса ведется в жестких рамках двух требований:

- 1) безусловно обязательное соблюдение заданных параметров изготавливаемого предмета;
- 2) достижение этой конечной цели с наименьшими затратами общественного труда.

Быстрый рост отечественного машиностроения и развитие науки меняли лицо этих курсов. Развивалась теория, появлялось все больше материалов, общих для разных отраслей машиностроения. Описания конкретных технологических процессов механической обработки деталей и сборки постепенно утрачивали значение главного материала курсов, стали служить лишь средством для иллюстрации общих положений возникшего учения о технологических процессах механической обработки деталей и сборки машин.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТАЛИ

1.1 Основы разработки технологических процессов

Современное производство характеризуется широким внедрением новой техники и передовой технологии. Чтобы обеспечить дальнейший быстрый научно-технический прогресс, необходимо постоянно совершенствовать процесс производства, внедрять передовой опыт, повышать производительность труда, снижать себестоимость продукции.

Как известно, в основе производственного процесса лежит технологический процесс. Поэтому создание прогрессивных технологических процессов — важнейшее мероприятие для решения ответственных задач, стоящих перед работниками промышленности,— делать больше, лучше и с меньшими затратами.

При проектировании (разработке) технологических процессов решаются задачи, которые определяют не только качество и себестоимость изделий, но и производительность труда. Таким образом, создание передовых технологических процессов способствует также организации - высокопроизводительного труда на каждом рабочем месте.

При проектировании технологических процессов необходимо стремиться к тому, чтобы они отражали последние достижения техники и новаторов производства в данной отрасли промышленности, обеспечивая минимальные затраты производства и высокое качество продукции. При этом необходимо предусмотреть рациональный выбор материала заготовки и припусков на ее обработку, последовательности операций обработки и ее методов, оборудования, приспособлений и инструмента, установочных баз, способов закрепления заготовки, а также способов и средств контроля, которые обеспечивали бы высококачественное изготовление деталей.

На технологический процесс существенное влияние оказывают программа выпуска деталей и технические условия на их изготовление. Поэтому при проектировании технологических процессов необходимо

учитывать количество изготавливаемых деталей, требования, предъявляемые к материалу и точности деталей и шероховатости их поверхностей.

При разработке технологических процессов целесообразно пользоваться каталогами инструментов, имеющимися на заводе (режущего, измерительного и др.), а также действующими на предприятии нормами и сборниками ГОСТ.

Разработанные технологические процессы оформляются в виде технологической документации.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и

окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его *вибрационное™*. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо

фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 2) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 3) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 4) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на

этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 1) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 2) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 3) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 4) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

1. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

2. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

3. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане $\angle \rho$ и \wedge возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы срв пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

1.2 Построение технологического маршрута

Разработка технологических процессов является трудоемкой и кропотливой работой, требующей значительной затраты времени и высокой квалификации технологов. Поэтому в заводской практике не для всякого типа производства разрабатывают полный комплект технологической документации. В условиях индивидуального производства нецелесообразно на каждую деталь, изготавливаемую в одном или нескольких экземплярах (штуках), разрабатывать подробную технологию.

Маршрутная карта (МК) является обязательным технологическим документом как для изготовления опытного образца, так и для установочной серии и установившегося серийного или массового производства. В зависимости от характера и вида производства МК составляют по одной из двух форм (сокращенная и подробная) .

Маршрутная карта, как отмечалось выше, предназначена для описания технологического процесса изготовления и контроля изделий по всем операциям в технологической последовательности. В ней указываются наименование металла, его марка, твердость, номер стандарта или ТУ на

материал, из которого изготавливают деталь, и обозначение материала по классификатору. В отдельных графах приводятся масса детали и заготовки, вид заготовки (отливка, поковка, штамповка), ее профиль и размеры, количество деталей, получаемых из одной заготовки, норма расхода материала и количество деталей, одновременно запускаемых в производство.

Приводится также обозначение цеха, в котором производится операция, номер участка, конвейера или поточной линии.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и

окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его *вибрационное™*. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо

фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 5) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 6) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 7) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на

этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 5) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 6) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 7) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 8) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

4. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

5. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

6. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане ϕ_r и ϕ^{\wedge} возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы с рв пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Выбор режущего инструмента обуславливается характером обработки, заданными классом точности и шероховатости поверхности, типом станка, материалом обрабатываемой заготовки, количеством обрабатываемых деталей в партии. Режущий инструмент должен обеспечивать наибольшую производительность труда при удовлетворении всех технических требований к качеству и точности обрабатываемой детали. Материалом для режущей части инструмента являются металло- и минералокерамические материалы, алмазы, быстрорежущие и инструментальные стали. Каждый из инструментальных материалов имеет свою оптимальную область применения. Твердосплавные инструменты обеспечивают высокую производительность труда при обработке высокотвердых материалов, черных, цветных металлов и пластмасс. Алмазные инструменты применяются для чистовой и отделочной обработки.

1.3 Анализ технологичности конструкции детали.

Для получения необходимой детали выбираем заготовку “прокат”, материал- сталь 40Х, диаметр - Ø65 мм и длина- 310 мм. Выбор именно такой заготовки связан с тем, что необходимая нам деталь имеет наибольший диаметр Ø62.

1.4 Определение типа производства

Тип производства определяют по формуле, рассчитывая такт выпуска [4]:

$$t_{\text{в}} = \frac{60 \cdot F_{\text{г}} \cdot m}{N} = \frac{60 \cdot 2100 \cdot 2}{400} = 630 \quad (1.1)$$

где $F_{\text{г}}=2100$ ч – действительный фонд времени работы станка в одну смену;

$m=2$ – количество смен;

$N=400$ шт. – годовое производство деталей.

Если такт выпуска получился больше 60, то применяется индивидуальное производство.

1.5 Определение количества деталей в партии

$$n = \frac{N \cdot t}{D} = \frac{400 \cdot 10}{256} = 16 \text{ шт.}$$

где $N=400$ шт. – годовой выпуск деталей;

$D=256$ дней – действительное количество рабочих дней в году;

$t=10$ дней – количество дней в году на которые должен быть обеспечен запас на складе.

1.6 Выбор и экономическое обоснование способов получения заготовки

Заготовка получена путем проката на прокатном стане и имеет в сечении форму круга. Необходимая нам деталь так же имеет форму круга в сечении, а соответственно более удобна для обработки с экономической и технологической точки зрения.

Таким образом заготовкой для изготовления вала-червяка применяем круглый прокат диаметром 65 мм и длиной 310 мм.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА-ЧЕРВЯКА

2.1. Выбор технологических баз и разработка маршрутной технологии

Для черновой операции принимаем технологическую базу – наружная цилиндрическая поверхность заготовки.

Для последующих чистовых операций принимаем базы – крайняя левая и правая ступени с центрирующими отверстиями в них.

Припуск на длину для диаметра прутка 240 мм равен 5 мм на сторону.

Составим вариант обработки для данной детали в условиях индивидуального производства [4]:

000 Заготовительная

005 Токарная черновая

010 Токарная чистовая

015 Токарная черновая

020 Токарная чистовая

025 Зубонарезная

030 Термообработка

035 Шпоночно-фрезерная

040 Круглошлифовальная

Маршрутная технология и исходные данные для разработки технологического процесса механической обработки червяка приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

№ операции	установка	№ перехода	Наименование операции, установки и перехода	Оборудование	Приспособление	Инструмент		Диаметр обработки, мм	Длина прохода, мм	Припуск на сторону, мм	Количество проходов		
						режущий	мерительный						
01	А		Токарная	Токарно-винторезный станок 16К20 N _{дв} =11 кВт	Токарный самоцентрирующийся патрон. Предохранительный сверлильный патрон. Рефленный передний центр, вращающийся задний центр.	Токарный подрезной резец Т15К6. Центровочное сверло. Спиральное сверло Ø 10,2 мм. Метчик М12.	Фасочный резец (правый и левый)	Линейка металлическая, штангенциркуль ШЦ-1					
		1	Установить и закрепить деталь в патроне Ø 65 мм										
		2	Подрезать торец						65	240	1,5	1	
	3	Зацентровать	12						12	6	1		
		Черновая обработка до Ø 63 мм на l=240 мм	63						240	1	2		
	Б	4	Установить и закрепить деталь в патроне по Ø 63 мм						63	95	5	1	
		5	Подрезать торец в размер 235 мм										
		6	Зацентровать						12	12	6	1	
		7	Черновая обработка до Ø 112 мм на l=55 мм						112	55	4,5	1	
8		Черновая обработка до Ø 100 мм на l=55 мм	110	55	2,5	1							
9		Сверлить отверстие Ø 10,2 мм под М12	12	40	5,1	1							
	Нарезать резьбу М12 ^x 1,5	12	40	0,9	1								

	В	10	Установить деталь в центрах Чистовая обработка до $\varnothing 190_{-0,1}$ на $l=500$ мм					190	500	0,5	1
		11	Чистовая обработка до $\varnothing 112 h9$ на $l=55$ мм					112	55	0,5	1
		12	Чистовая обработка до $\varnothing 112$ на $l=55$ мм					112	55	0,475	1
		13	Чистовая обработка до $\varnothing 100 k6$ ($^{-120}_{-340}$) на $l=250$ мм					100	250	0,5	1
		14	Чистовая обработка до $\varnothing 100 k6$ ($^{+0,025}_{+0,003}$) мм на $l=70$ мм					100	70	0,475	1
		15	Снять 2 фаски 1×45					100	1	1	1
		16	Снять 2 фаски 1×45					112	1	1	1
02	А	17	Фрезерная Установить деталь на призмах и закрепить плашками Фрезеровать шпоночный паз $9P9$ ($^{-0,022}_{-0,074}$) на 40 мм	Вертикально-фрезерный станок 6P11 $N_{лв}=5,5$ кВт	Подвижные призмы, прихваты	Шпоночная фреза $\varnothing 28$	Штангенциркуль ШЦ-1	28	10	8	1
03	А	18	Шлифовальная Установить деталь в центрах и закрепить Предварительное шлифование до $\varnothing 62,004$ на $l=70$ мм	Круглошлифовальный станок 3M150 $N_{лв}=4,0$ кВт	Трехкулачковый патрон, передний и задний центра	Шлифовальный круг $\varnothing 400 \times 50 \times 16$ мм	Микрометр 100-150	6205	70	0,0175	1
		19	Окончательное шлифование до $\varnothing 62 k6$ ($^{+0,025}_{+0,003}$) на $l=70$ мм					62015	70	0,0075	1
		20	Предварительное шлифование до \varnothing 62,015 на $l=250$ мм					6205	250	0,0175	1
		21	Окончательное шлифование до $\varnothing 62 k6$ ($^{-120}_{-340}$) на $l=20$ мм					62015	250	0,0075	1

2.2 Выбор технологического оборудования, приспособлений, режущего и мерительного инструмента

2.2.1 Токарная обработка

Оборудование [4]: токарно-винторезный станок 16К20, мощность двигателя $N_{дв}=11$ кВт.

Приспособления: токарный самоцентрирующийся патрон, предохранительный сверлильный патрон, рифленный передний центр, вращающийся задний центр.

Режущий и мерительный инструмент [4]: токарный подрезной резец Т15К6, центровочное сверло, спиральное сверло $\varnothing 10.2$ мм, метчик М12, фасочный резец (правый и левый), линейка металлическая, штангенциркуль ШЦ-1.

2.2.2 Фрезерная обработка

Оборудование [4]: вертикально-фрезерный станок 6Р11, мощность двигателя $N_{дв}=5,5$ кВт.

Приспособления: подвижные призмы, прихваты. Режущий и мерительный инструмент: шпоночная фреза $\varnothing 28$ мм, штангенциркуль ШЦ-1.

2.2.3 Шлифовальная обработка

Оборудование [4]: круглошлифовальный станок 3М150, мощность двигателя $N_{дв}=4.0$ кВт. Приспособления: трехлапчатый патрон, передний и задний центра.

Режущий и мерительный инструмент: шлифовальный круг $\varnothing 400 \times 50 \times 16$ мм, микрометр 100-150.

2.3 Установление режимов резания

2.3.1 Токарная операция

На токарной операции расчет режимов резания производится на 3-х переходах:

1. Подрезать торец
5. Сверлить отверстие
6. Нарезать резьбу

Установка А переход 1 подрезать торец.

Скорость резания определяется по формуле [4]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.2)$$

где $T=60$ мин – среднее значение периода стойкости резца;

$t=5$ мм – глубина резания;

$S=0.5$ мм/об – подача при точении

Находим значение коэффициента C_v и показателей степеней [46]:

$C_v=350$; $x=0.15$; $y=0.35$; $m=0.20$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{nv}, \quad (2.3)$$

где K_{mv} – поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$K_{uv}=1.0$ – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента;

$K_{nv}=0.9$ – коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки .

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (2.4)$$

где $K_r=1.1$ – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости;

$n_v=1.0$ – показатель степени;

$\sigma_B=900$ МПа – временное сопротивление материала ст. 40Х.

$$K_{mv} = 1.1 \cdot \left(\frac{750}{900} \right)^1 = 0.92$$

$$K_v = 0.92 \cdot 1.0 \cdot 0.9 = 0.83$$

$$V = \frac{350}{60^{0.2} \cdot 5^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} \cdot 0.83 = 128 \text{ м/мин}$$

Определение частоты вращения:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 128}{3.14 \cdot 112} = 364 \text{ мин}^{-1}$$

где $D=112$ мм – диаметр обрабатываемой поверхности.

Для станка 16К20 частоту вращения шпинделя определяем: $n_{\min}=12.5$;

$$n_{\max}=1600 \text{ мин}^{-1}.$$

Диаметрический ряд скоростей:

$$\frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \varphi^{z-1} \quad (2.5)$$

где $z=22$ – число скоростей шпинделя

$$\frac{1600}{12.5} = \varphi^{21} \rightarrow \varphi = \sqrt[21]{\frac{1600}{12.5}} = 1.26$$

Ряд частот вращения шпинделя для станка 16К20 [46]

12.5; 16; 20; 25; 31.6; 40; 50; 63; 80; 100;

125; 160; 200; 250; 316; 400; 500; 630; 800; 1000;

1250; 1600.

Округляем расчетную частоту вращения шпинделя до ближайшего меньшего и получаем фактическую:

$$n_{\Phi}=500 \text{ об/мин}$$

Определение фактической скорости резания:

$$V_{\Phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\Phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 112 \cdot 500}{1000} = 175 \text{ м/мин}$$

Расчет режимов резания при сверлении отверстия $\varnothing 10.2$ мм под резьбу М12.

Определение скорости резания при сверлении определяется по формуле [46]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.6)$$

где $T=25$ мин – среднее значение периода стойкости сверла;

$S=0.28$ мм/об – подача при сверлении;

$K_{Is}=0.9$, $K_{Os}=0.5$ – поправочные коэффициенты учитывающие конкретные

условия обработки

$D=10.2$ мм – диаметр сверла;

Определяем значение коэффициента C_v и показателей степени:

$C_v=9.8$; $q=0.40$; $y=0.30$; $m=0.20$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv}, \quad (2.7)$$

где K_{mv} – коэффициент на обрабатываемый материал;

$K_{uv}=1.0$ – коэффициент на инструментальный материал;

$K_{lv}=0,85$ – коэффициент, учитывающий глубину сверления ([4]табл. 31).

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (2.8)$$

где $K_r=1.0$ – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости;

$\sigma_B=900$ МПа – временное сопротивление материала ст. 40Х.

$n_v=0.9$ – показатель степени.

$$K_{mv} = 0.85 \cdot \left(\frac{750}{900} \right)^{0.9} = 0.721;$$

$$K_v = 0.721 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.721$$

$$V = \frac{9.8 \cdot 10.2^{0.4}}{25^{0.2} \cdot 0.13^{0.3}} \cdot 0.721 = 15 \text{ м/мин}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15}{3.14 \cdot 10.2} = 468 \text{ мин}^{-1}$$

Выбираем фактическую частоту вращения по станку ближайшую меньшую:

$$n_{\phi} = 400 \text{ мин}^{-1}$$

Определение фактической скорости резания при сверлении:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 10.2 \cdot 400}{1000} = 13 \text{ м/мин}$$

Определение режимов резания при нарезании резьбы М12.

Метчик работает с самозатягиванием, поэтому подача равна шагу резьбы ($S=1.5 \text{ мм/об}$)

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2,9)$$

где $T=90 \text{ мин}$ – среднее значение периода стойкости метчика;

$D=12 \text{ мм}$ – диаметр;

$S=1.5 \text{ мм/об}$ – подача.

Определяем значение коэффициента C_v и показателей степени:

$C_v=64.8$; $y=0.5$; $q=1.2$; $m=0.90$.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{tv}, \quad (2.10)$$

где $K_{mv}=0.8$ – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$K_{uv}=1.0$ – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента;

$K_{tv}=1.0$ – коэффициент, учитывающий точность нарезаемой резьбы .

$$K_v = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.8$$

$$V = \frac{64.8 \cdot 12^{1.2}}{90^{0.9} \cdot 1.5^{0.5}} \cdot 0.8 = 15 \text{ м/мин}$$

Определение частоты вращения:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15}{3.14 \cdot 12} = 398 \text{ мин}^{-1}$$

Принимаем частоту вращения $n_{\phi} = 50 \text{ мин}^{-1}$ для нарезания резьбы (по данным станка).

Определение фактической скорости резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 12 \cdot 50}{1000} = 1.9 \text{ м/мин}$$

Частота вращения при вывинчивании принимается 25 об/мин.

Чистовое точение:

Скорость резания определяется по формуле [46]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.11)$$

где $T = 60$ мин – среднее значение периода стойкости резца;

$t = 0,5$ мм – глубина резания;

$S = 0.246$ мм/об – подача при точении

Находим значение коэффициента C_v и показателей степеней:

$C_v = 420$; $x = 0.15$; $y = 0.20$; $m = 0.20$

$$V = \frac{420}{60^{0.2} \cdot 0.5^{0.15} \cdot 0.246^{0.2}} \cdot 0.83 = 225 \text{ м/мин}$$

Определение частоты вращения:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 225}{3.14 \cdot 100} = 716 \text{ мин}^{-1}$$

Округляем расчетную частоту вращения шпинделя до ближайшего меньшего и получаем фактическую:

$n_{\phi} = 630$ об/мин

Определение фактической скорости резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 100 \cdot 630}{1000} = 197 \text{ м/мин}$$

Рассчитаем усилие резания при подрезке торца:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^{xp} \cdot S^{yp} \cdot V_\phi^n \cdot K_p, \quad (2.12)$$

где из таблицы определяем коэффициент C_p и показатели степени:

$$C_p = 300; x = 1.0; y = 0.75; n = -0.15;$$

$t = 5.0$ мм – глубина резания;

$S = 0.5$ мм/об – подача при точении;

$V_\phi = 175$ м/мин – фактическая скорость резания.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \quad (2.13)$$

Из таблицы определим:

$K_{\varphi p} = 0.89$ – коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане

при

$$\varphi = 90^\circ;$$

$K_{\gamma p} = 1.1$ – коэффициент, учитывающий влияние переднего угла при

$\gamma = 0^\circ;$

$K_{\lambda p} = 1.0$ – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главного лезвия $\lambda = 0^\circ;$

K_{mp} – коэффициент на обрабатываемый материал

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{900}{750} \right)^{0.75} = 1.15,$$

где $n = 0.75$ – показатель степени.

$$K_p = 1.15 \cdot 0.89 \cdot 1.1 \cdot 1.0 = 1.126$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5.0^{1.0} \cdot 0.5^{0.75} \cdot 175^{-0.15} \cdot 1.126 = 4962 \text{ Н}$$

Определение эффективной мощности:

$$N_\varepsilon = \frac{P_z \cdot V_\phi}{60 \cdot 1020} = \frac{4962 \cdot 175}{60 \cdot 1020} = 8.92 \text{ кВт}$$

$$N_{np} = \frac{N_\varepsilon}{\eta} = \frac{8.92}{0.85} = 10.49 < N_{дв} = 11 \text{ кВт}$$

Мощность для сверления и нарезания резьбы значительно меньше, поэтому не определяется.

2.3.2 Фрезерная операция

Подача при фрезеровании шпоночных пазов определяется по таблице (вертикальная подача 0.010 мм, продольная подача 0.028 мм).

Определение скорости резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.14)$$

где $T=80$ мин – среднее значение периода стойкости фрезы ([4] табл. 40);

$t=6$ мм – глубина резания;

$S=0,028$ мм/зуб – подача;

$D=28$ мм – диаметр фрезы.

Из таблицы определяем коэффициент C_v и показатели степени:

$C_v=12$; $q=0.25$; $x=0.3$; $y=0.3$; $u=0$; $p=0$; $m=0.26$.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (2.15)$$

где $K_{nv}=1.0$ – коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки;

$K_{uv}=1.0$ – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента;

K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала.

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (2.16)$$

где $K_r=1.0$ – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости;

$\sigma_b=900$ МПа – временное сопротивление материала ст. 40Х.

$n_v=0.9$ – показатель степени.

$$K_{mv} = 1.0 \cdot \left(\frac{750}{900} \right)^{0.9} = 0.85;$$

$$K_v = 0.85 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.85$$

$$V = \frac{12 \cdot 28^{0.25}}{80^{0.26} \cdot 6^{0.3} \cdot 0.028^{0.3}} \cdot 0.85 = 12.9 \text{ м/мин}$$

Определение частоты вращения фрезы:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 12.9}{3.14 \cdot 28} = 147 \text{ мин}^{-1}$$

Ряд частот вращения для станка 6P11 будет: 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Принимаем фактическую частоту вращения фрезы равную $n_{\phi} = 125 \text{ мин}^{-1}$.

Определение фактической скорости резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3.14 \cdot 28 \cdot 125}{1000} = 11 \text{ м/мин}$$

Определение усилия резания по формуле:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n_{\phi}^w} \cdot K_{mp}, \quad (2.17)$$

где из таблицы определяем коэффициент C_p и показатели степени:

$C_p = 68.2$; $x = 0.86$; $y = 0.72$; $u = 1$; $q = 0.86$; $w = 0$

$t = 6 \text{ мм}$ – глубина резания;

$S = 0.028$ – продольная подача;

$z = 2$ – количество зубьев фрезы;

$D = 28 \text{ мм}$ – диаметр фрезы;

$B = 28 \text{ мм}$ – ширина шпоночного паза.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_{\phi}}{750} \right)^n = \left(\frac{900}{750} \right)^{0.3} = 1.056$$

где $n = 0.3$ – показатель степени (табл. 9)

$$P_z = \frac{10 \cdot 68.2 \cdot 6.0^{0.86} \cdot 0.028^{0.72} \cdot 28^{1.0} \cdot 2}{28^{0.86} \cdot 1} \cdot 1.056 = 772 \text{ Н}$$

Определение эффективной мощности:

$$N_{\text{э}} = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{60 \cdot 1020} = \frac{772 \cdot 11}{60 \cdot 1020} = 0.139 \text{ кВт}$$

Определение необходимой мощности двигателя:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{э}}}{\eta} = \frac{0.139}{0.85} = 0.163 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 5.5 \text{ кВт}$$

2.3.3 Шлифовальная операция

Режим резания определяется по таблице

Характеристики процесса шлифования	Скорость круга V _к , м/с	Скорость заготовки V _з , м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача S
Предварительный	(30-35) 35	(12-25) 15	(0,01-0,025) 0,0175	(0,3-0,7)В 8
Окончательный		(15-55) 30	(0,005-0,015) 0,0075	(0,2-0,4)В 5

Определение эффективной мощности при шлифовании:

$$N_{\text{э}} = C_N V_{\text{з}}^r t^x s^y \quad (2.18)$$

Из таблицы определим значение коэффициента C_N и показатели степени:

$$C_N = 2.2; r = 0.5; x = 0.5; y = 0.55.$$

$$N_{\text{э}} = 2.2 \cdot 15^{0.5} \cdot 0.0175^{0.5} \cdot 8^{0.55} = 3.5 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 4 \text{ кВт}$$

Определение массы детали:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L \cdot \gamma}{4 \cdot 10^6} = \frac{3,14 \cdot 7,85}{4 \cdot 10^6} \cdot (190^2 \cdot 500 + 112^2 \cdot 110 + 100^2 \cdot 320) = 139.5 \text{ кг},$$

где $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$

$d = 190 \text{ мм}$ – диаметр

$L = 930 \text{ мм}$ – длина.

Таблица 2

№ операции	Установка	№ перехода	Наименование операции, установки и перехода	Глубина резания t, мм	Подача S, мм/об	Скорость резания V, мм/мин	Частота вращения n, об/мин
01	А		Токарная				
			Установить и закрепить деталь				
			Подрезать торец				
			Зацентрировать				
			Черновая обработка до Ø 190 мм на l = 500 мм				
		1	Установить и закрепить деталь	5	0,5	175	500
		2	Подрезать торец	7,5	0,2	18,84	500
		3	Зацентрировать	3,5	0,5	175	500
			Черновая обработка до Ø 112 мм на l = 55 мм				
		4	Установить и закрепить деталь	5	0,5	175	500
		5	Черновая обработка до Ø 110 мм на l = 55 мм	7,5	0,2	18,84	500
		6	Установить и закрепить деталь	4,5	0,5	175	500
		7	Сверлить отверстие Ø 10,2 мм под M12	2,5	0,6	96	500
		8	Нарезать резьбу M12 ^x 1,5	5,1	0,28	13	400
		9	Установить деталь в центрах и закрепить	0,75	1,5	1,9	50
	Чистовая обработка до Ø 190 _{0,1} на l = 500 мм						
10	Установить и закрепить деталь	0,5	0,246	197	630		
11	Чистовая обработка до Ø 112 h9 на l = 55 мм	0,5	0,246	197	630		
12	Установить и закрепить деталь	0,475	0,246	197	630		
13	Чистовая обработка до Ø 112 на l = 55 мм	0,5	0,246	197	630		
14	Чистовая обработка до Ø 100 k6 на l = 250 мм	0,475	0,246	197	630		
15	Установить и закрепить деталь	1,5	0,246	173	630		
02	Б		Чистовая обработка до Ø 100k6 на l = 70 мм				
		16	Снять 2 фаски 1,5 ^x 45	6	0,028	11	125
03	В		Фрезерная				
			Установить деталь на призмах и закрепить				
		17	Фрезеровать шпоночный паз 28P9 ^(-0,022 / -0,074)	0,0175	8	35 м/с	—
		18	Установить и закрепить деталь	0,0075	5	35 м/с	—
		19	Шлифовальная	0,0175	8	35 м/с	—
20	Установить деталь в центрах и закрепить	0,0075	5	35 м/с	—		
	Предварительное шлифование до Ø55,015						
	Окончательное шлифование до Ø 55k6						
	Предварительное шлифование до Ø55,015						
	Окончательное шлифование до Ø 55k6						

2.4 Расчет штучно-калькуляционного времени

Штучно-калькуляционного время определяется по формуле [46]:

$$T_{шт.к.} = T_0 + T_v + T_{доп} + \frac{T_{п.з.}}{n},$$

где T_0 – основное машинное время (рассчитывается для каждого перехода токарной, фрезерной и шлифовальной операции), мин;

T_v – вспомогательное время, мин;

$T_{доп}$ – дополнительное время, мин;

$T_{п.з.}$ – подготовительно заключительное время на обработку всей партии деталей, мин;

n – количество деталей в партии, шт.

2.4.1 Токарная обработка

Определение основного машинного времени:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \quad (2.19)$$

где L – длина обработки на каждый переход с учетом врезания и выхода, мм (берется из таблицы 1);

n – частота вращения, об/мин (берется из таблицы 2);

S – подача, мм/об (берется из таблицы 2);

i – число проходов.

При нарезании резьбы:

$$T_0 = \frac{l + l_1}{S \cdot n} + \frac{l + l_1}{S \cdot n_1}, \quad (2.20)$$

где $l=40$ мм – длина обработки;

$l_1 = (1 \dots 3) \cdot p = 3$ мм

$S=1,5$ мм/об – подача;

$n=50$ мин⁻¹ – частота вращения при нарезании резьбы;

$n_l = 25 \text{ мин}^{-1}$ – частота вращения при выкручивании метчика.

$$1. T_o = \frac{940}{500 \cdot 0,5} \cdot 1 = 3,76 \text{ мин}$$

$$2. T_o = \frac{12}{500 \cdot 0,2} \cdot 1 = 0,12 \text{ мин}$$

$$3. T_o = \frac{500}{500 \cdot 0,5} \cdot 2 = 4 \text{ мин}$$

$$4. T_o = \frac{95}{500 \cdot 0,5} \cdot 1 = 0,38 \text{ мин}$$

$$5. T_o = \frac{12}{500 \cdot 0,2} \cdot 1 = 0,12 \text{ мин}$$

$$6. T_o = \frac{55}{500 \cdot 0,5} \cdot 1 = 0,22 \text{ мин}$$

$$7. T_o = \frac{55}{500 \cdot 0,6} \cdot 1 = 0,18 \text{ мин}$$

$$8. T_o = \frac{40}{400 \cdot 0,28} \cdot 1 = 0,36 \text{ мин}$$

$$9. T_o = \frac{40+3}{1,5 \cdot 50} + \frac{40+3}{1,5 \cdot 25} = 1,72 \text{ мин}$$

$$10. T_o = \frac{500}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 3,23 \text{ мин}$$

$$11. T_o = \frac{55}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 0,35 \text{ мин}$$

$$12. T_o = \frac{55}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 0,35 \text{ мин}$$

$$13. T_o = \frac{250}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 1,61 \text{ мин}$$

$$14. T_o = \frac{70}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 0,45 \text{ мин}$$

$$15. T_o = \frac{1}{630 \cdot 0,246} \cdot 1 = 0,006 \text{ мин}$$

$$T_o = \sum T_{o_n} = 16,86 \text{ мин}$$

Определение вспомогательного времени:

$$T_v = \sum T_{v.y.} + \sum T_{v.n.}, \quad (2.22)$$

где $T_{v.y.}$ – время на установку и закрепление детали, мин;

$T_{v.n.}$ – вспомогательное время связанное с переходом, мин.

Определение дополнительного времени:

$$T_{доп} = (\sum T_o + \sum T_v) \cdot \frac{8}{100} = (16,86 + 17,69) \cdot \frac{8}{100} = 2,76 \text{ мин}$$

Определение штучно-калькуляционного времени:

$$T_{шт.к}^{токар.} = 16,86 + 2,76 + 17,69 + \frac{10}{16} = 37,94 \text{ мин}$$

2.4.2 Фрезерная обработка

Определение основного машинного времени открытого шпоночного паза:

$$T_o = \frac{l + 2}{S_{z_{пр}} \cdot z \cdot n}, \quad (2.23)$$

где $l=100$ мм – длина шпоночного паза;

$S_{z_{пр}}=0,028$ мм/зуб – продольная подача;

$z=2$ – количество зубьев фрезы;

$n=125$ об/мин – частота вращения фрезы.

$$T_o = \frac{100 + 2}{0,028 \cdot 2 \cdot 125} = 14,57 \text{ мин}$$

Определение вспомогательного времени:

$$T_v = \sum T_{v.y.} + \sum T_{v.n.} = 5,3 \text{ мин}$$

Определение дополнительного времени:

$$T_{дон} = (\Sigma T_o + \Sigma T_v) \cdot \frac{7}{100} = (14,57 + 5,3) \cdot \frac{7}{100} = 1,39 \text{ мин}$$

Определение штучно-калькуляционного времени:

$$T_{шт.к.}^{фрез.} = 14,57 + 5,3 + 1,39 + \frac{8}{16} = 21,76 \text{ мин}$$

2.4.3 Шлифовальная обработка

Определение основного машинного времени:

$$T_o = \frac{l - 0,4 \cdot B}{n_3 \cdot S_{пр}} \cdot 1,7 \cdot i, \quad (2.24)$$

где l – длина цапфы вала, которая шлифуется, мм;

B – ширина шлифовального круга, мм;

n_3 – частота вращения заготовки;

$S_{пр}$ – продольная подача, мм/об;

1,7 – коэффициент, учитывающий пробный проход при шлифовании и
замере диаметра;

i – число проходов.

$$T_o = \frac{70 - 0,4 \cdot 16}{47 \cdot 8} \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,28 \text{ мин}$$

$$T_o = \frac{250 - 0,4 \cdot 16}{47 \cdot 8} \cdot 1,7 \cdot 1 = 1,1 \text{ мин}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 15}{3,14 \cdot 100} = 47 \text{ мин}^{-1},$$

где $V_3=15$ м/мин – скорость вращения заготовки;

$d_3=100$ мм – диаметр обрабатываемой заготовки.

Окончательная обработка:

$$T_o = \frac{70 - 0,4 \cdot 16}{94 \cdot 5} \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,23 \text{ мин}$$

$$T_o = \frac{250 - 0,4 \cdot 16}{94 \cdot 5} \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,88 \text{ мин}$$

$$n_z = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 100} = 94 \text{ об/мин}$$

$$T_o = \sum T_{o_n} = 2,49 \text{ мин}$$

Определение вспомогательного времени:

$$T_v = \sum T_{v.y.} + \sum T_{v.n.} = 3,89 \text{ мин}$$

Определение дополнительного времени:

$$T_{доп} = (\sum T_o + \sum T_v) \cdot \frac{9}{100} = (2,49 + 3,89) \cdot \frac{9}{100} = 0,57 \text{ мин}$$

Определение штучно-калькуляционного времени:

$$T_{шт.к.}^{шлиф.} = 2,49 + 3,89 + 0,57 + \frac{6}{16} = 7,33 \text{ мин}$$

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационностиTM. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой

чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь

получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 2) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 3) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 4) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также

является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 1) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 2) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев

системы;

3) регулирования собственной частоты этих звеньев;

4) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

1. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

2. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

3. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане $\angle \rho$ и \wedge возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы срв пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с

отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Таблица 3

№ операции	Установка	№ перехода	Наименование операции, установки и перехода	T _о , мин	T _в , мин	T _{доп} , мин	T _{п.з.} , мин	T _{шт.к.} , мин										
01	А	1	Токарная				10											
			Установить и закрепить деталь		1,0													
			Подрезать торец	3,76	0,85													
	Б	2	Зацентровать	0,12	0,6													
			3	Черновая обработка до Ø 56 мм на l=65 мм	4	1,05												
				4	Установить и закрепить деталь		1,0											
					5	Подрезать торец	0,38	0,85										
						6	Зацентровать	0,12	0,6									
							7	Черновая обработка до Ø 61 мм на l=127 мм	0,22	1,05								
								8	Черновая обработка до Ø 56 мм на l=80 мм	0,18	1,05							
									9	Сверлить отверстие Ø 10,2 мм под M12	0,36	0,93						
										10	Нарезать резьбу M12 ^x 1,5	1,72	1,48					
											11	Установить деталь в центрах и закрепить		0,88				
												12	Чистовая обработка до Ø 60 h8 на l=47 мм	3,23	1,2			
													13	Чистовая обработка до Ø 55h9 на l=60 мм	0,35	1,4		
14	Чистовая обработка до Ø 55,05 на l=20 мм	0,35												1,2				
	15	Чистовая обработка до Ø 55 h9 на l=45 мм	1,61											1,2				
		16	Чистовая обработка до Ø 55,05 на l=20 мм	0,45										1,2				
			17	Снять 2 фаски 1,5 ^x 45	0,006									0,15				
				Всего										16,86	17,69	2,76	0,625	37,94
				02	А	16	Фрезерная										8	
							Установить деталь на призмах и закрепить							3,7				
				17	16	Фрезеровать шпоночный паз 28P9 ^(-0,022) _(-0,074)	14,57	0,8										
						Всего			14,57	5,3				1,39	0,5	21,76		
				03	А	18	Шлифовальная				6							
							Установить деталь в центрах и закрепить		0,79									
							Предварительное шлифование до Ø 100,015	0,28	1,0									
Окончательное шлифование до Ø 100 к6							0,23	1,0										
Предварительное шлифование до Ø 100,015	1,1						0,55											
19	21	Окончательное шлифование до Ø 100 к6		0,88	0,55													
		Всего			2,49	3,89	0,57	0,375	7,33									

2.4.4 Определение общего штучно-калькуляционного времени при изготовлении детали

$$T_{шт.к.}^{дет.} = T_{шт.к.}^{токар} + T_{шт.к.}^{фрез.} + T_{шт.к.}^{шлиф.} = 37,94 + 21,76 + 7,33 = 67,03 \text{ мин}$$

2.5. Брак при обтачивании цилиндрических поверхностей и меры его предупреждения

При обтачивании цилиндрических поверхностей возможны следующие виды брака:

- 1) часть поверхности детали осталась необработанной;
- 2) размеры обточенной поверхности неправильны;
- 3) обточенная поверхность получилась конической;
- 4) обточенная поверхность получилась овальной;
- 5) шероховатость обработанной поверхности не соответствует указаниям в чертеже.

1. Часть поверхности детали остается необработанной из-за неправильных размеров заготовки, недостаточного припуска на обработку, плохой правки (кривизна) заготовки, неправильной установки и неточной выверки детали, неточного расположения центровых отверстий и смещения заднего центра. Такой брак обычно неисправим.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения

колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условия работы с точки зрения возможности возникновения колебания большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационное™. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 5) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 6) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 7) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным,

«универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 5) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 6) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 7) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 8) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

4. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

5. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты

поверхности.

6. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане $\angle \rho$ и \wedge возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы с рв пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Чтобы предупредить брак такого вида, необходимо:

а) осматривать заготовку и проверять сомнительные размеры ее;

б) следить за достаточной величиной припуска на обработку;

в) тщательно править заготовку перед её установкой на станок;

г) проверять правильность установки заготовки;

д) следить за правильным расположением центровых отверстий;

е) проверять правильность установки заднего центра.

2. Неправильные размеры обточенной поверхности возможны при неточной установке резца на глубину резания или при неправильном измерении детали при снятии пробной

3. Конусность обточенной поверхности получается обычно в результате смещения заднего центра относительно переднего. Для устранения причины этого вида брака необходимо правильно установить задний центр. Обычной причиной смещения заднего центра является попадание грязи или мелкой стружки в коническое отверстие пиноли. Очисткой центра и конического отверстия пиноли можно устранить и эту причину брака. Если и после очистки вершины конусов переднего и заднего центров не совпадают, надо соответственно переместить корпус задней бабки на ее плите.

Исправить этот вид брака повторным обтачиванием можно только в том случае, если меньший диаметр конуса равен или больше требуемого размера.

4. Овальность обточенной детали получается при биении шпинделя вследствие неравномерной выработки его подшипников или неравномерного износа его шеек. Предупредить брак по этой причине можно своевременной проверкой и ремонтом станка.

Указанный вид брака получается также при биении переднего центра вследствие попадания грязи или мелкой стружки в коническое отверстие шпинделя.

2.6 Техника безопасности при обтачивании цилиндрических поверхностей

Во всех случаях обработки на токарных станках необходимо обращать внимание на прочное закрепление детали и резца. Надежность крепления детали, обрабатываемой в центрах, в значительной мере зависит от состояния центров. Нельзя работать с изношенными центрами, так как под действием

силы резания деталь может вырваться из центров, отлететь в сторону и нанести токарю ранение.

При обработке деталей в центрах и патронах выступающие части хомутика и кулачки патрона нередко захватывают одежду рабочего. Эти же части могут явиться причиной повреждения рук при измерениях детали и уборке станка на ходу. Для предупреждения несчастных случаев следует снабжать хомутики предохранительными щитками или применять безопасные хомутики, а кулачковые патроны ограждать.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и

окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его *вибрационное™*. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо

фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 8) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 9) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 10) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся масс* в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время,

виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 9) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 10) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 11) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 12) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения

или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

7. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

8. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

9. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане ϕ и α возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы с рв пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы

было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Установка резца по высоте центров при помощи различных непригодных для этого подкладок (металлических об резков, кусочков ножовок и др.) не обеспечивает устойчивого положения резца во время его работы. Под действием давления стружки такие подкладки смещаются и установка резца разлаживается, при этом ослабевает и крепление резца. В результате этого подкладки и резец могут выскочить из резцовой головки и поранить токаря. Кроме того, во время установки резца и при работе на станке возможны повреждения рук об острые кромки металлических подкладок. Поэтому рекомендуется каждому токарю иметь набор подкладок, различных по толщине и с хорошо обработанными опорными плоскостями и краями.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЮНЕТА

Приспособлениями в машиностроении называют дополнительные устройства к технологическому оборудованию, применяемые при выполнении технологических операций (обработка заготовок, сборка изделий, контроль и др.)- За счет использования приспособлений устраняется необходимость разметки заготовок, расширяются технологические возможности металлообрабатывающего оборудования; возрастает производительность труда; повышаются точность обработки и качество изделий обеспечивается возможность многостаночного обслуживания, применения прогрессивных норм времени, снижения потребной квалификации и численности рабочих; создаются условия для механизации и автоматизации процессов производства; снижается себестоимость продукции; улучшаются условия и безопасность труда. В настоящее время эксплуатируется более 20 млн. приспособлений. Значительную долю (до 90 % от их общего количества) составляют станочные приспособления для установки и обработки заготовок и установки инструментов.

Из сказанного видно, что для успешного решения вопросов научно-технического прогресса инженерно-технические работники машиностроения должны знать теоретические основы создания приспособлений, их системы и типовые конструкции; уметь анализировать соответствие конструкции приспособлений требованиям производства; обладать соответствующими навыками проектирования и расчета различных приспособлений.

					<i>ВКР 23.03.03.268.20 00.00.00.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата			
Разраб.		Хайруллина Н.Р.	<i>Хайруллина</i>	06.20	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Марданов Р.Х.	<i>Марданов</i>	08.20		1	17
					<i>Люнет</i>		
Н. Контр.		Марданов Р.Х.	<i>Марданов</i>	08.20	Казанский ГАУ каф. ОИД группа Б252-04		
Утвердил		Пикмиллин Г.В.	<i>Пикмиллин</i>	06-20			

Обработка шейки, длина которой должна быть немного больше ширины кулачков люнета, возможна несколькими способами.

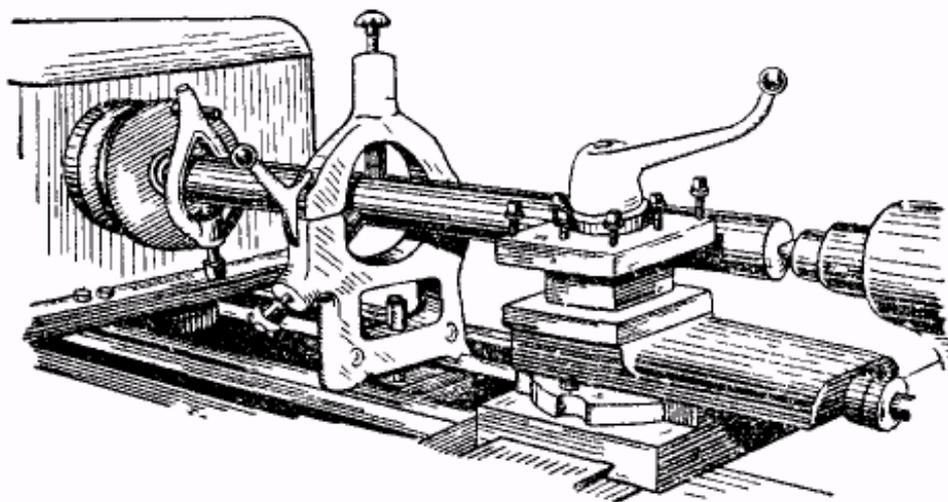


Рисунок 3.2 Обработка с неподвижным люнетом

Если деталь длинная и тонкая, ее устанавливают в центрах и протачивают шейку в требуемом месте. Подача и глубина резания должны быть при этом возможно меньшими, чтобы избежать прогиба вала и вибраций. Из этих же соображений главный угол в плане резца должен быть возможно большим (лучше всего пользоваться подрезными резцами) и радиус закругления вершины резца возможно меньшим, а передняя поверхность вогнутой (радиусной с фаской).

Угол наклона главной режущей кромки резца следует делать отрицательным, в этом случае резец как бы натягивает деталь на себя. При положительном угле резец отталкивает от себя деталь, что способствует появлению вибраций.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационное™. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то

станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменной станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 2) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 3) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 4) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как

критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 1) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 2) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 3) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 4) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

1. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

2. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

3. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

- а) выбирать значения углов в плане ϕ и α возможно большими. В

условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы срез в пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Если деталь имеет обработанную поверхность, то установку люнета лучше всего производить при помощи короткой оправки (цилиндрического валика) диаметром, равным диаметру заготовки в том ее месте, в котором будет расположен люнет. Один конец оправки закрепляется в патроне, а по другому концу, предварительно выверенному при помощи рейсмуса или индикатора, или обточенному на месте, устанавливаются кулачки люнета. Люнет в это время находится вблизи передней бабки и после установки кулачков передвигается вдоль станины до требуемого положения.

Отметим в заключение, что при обтачивании детали с неподвижным люнетом угол наклона главной режущей кромки резца должен быть положительным. Образующаяся при этом стружка отходит вправо и не запутывается в кулачках люнета.

Подвижный люнет (рисунок 3.3) закрепляется на продольных салазках 4 суппорта болтами 6. В корпусе 5 люнета в этом случае расположены только два кулачка; один из них обозначен цифрой 3. Кулачки регулируются винтами 1 и закрепляются винтами 2.

При правильной установке резца и люнета кулачки последнего поддерживают деталь несколько правее резца (при перемещении суппорта влево), как показано на рисунке 3.4. Кулачки люнета, таким образом, прикасаются к обработанной поверхности вала и поддерживают его вблизи резца, т. е. не далеко от точки приложения силы, изгибающей вал.

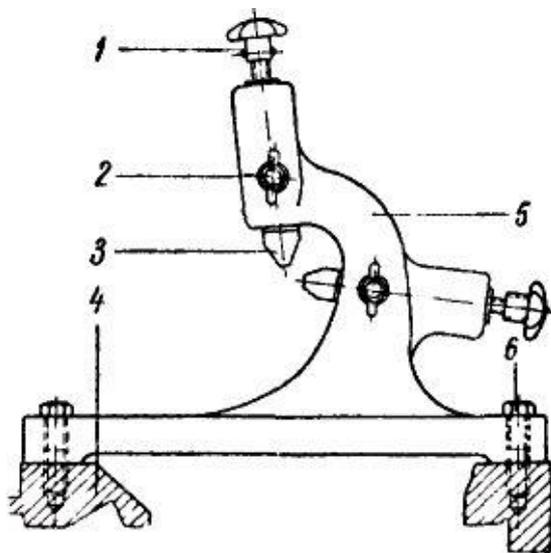


Рисунок 3.3 – Подвижный люнет

						Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Благодаря тому, что люнет перемещается вместе с суппортом, относительное положение резца и кулачков люнета остается неизменным. Для предотвращения попадания стружки под кулачки люнета угол наклона главной режущей кромки резца следует делать отрицательным. Стружка при этом условии отходит влево, что и требуется.

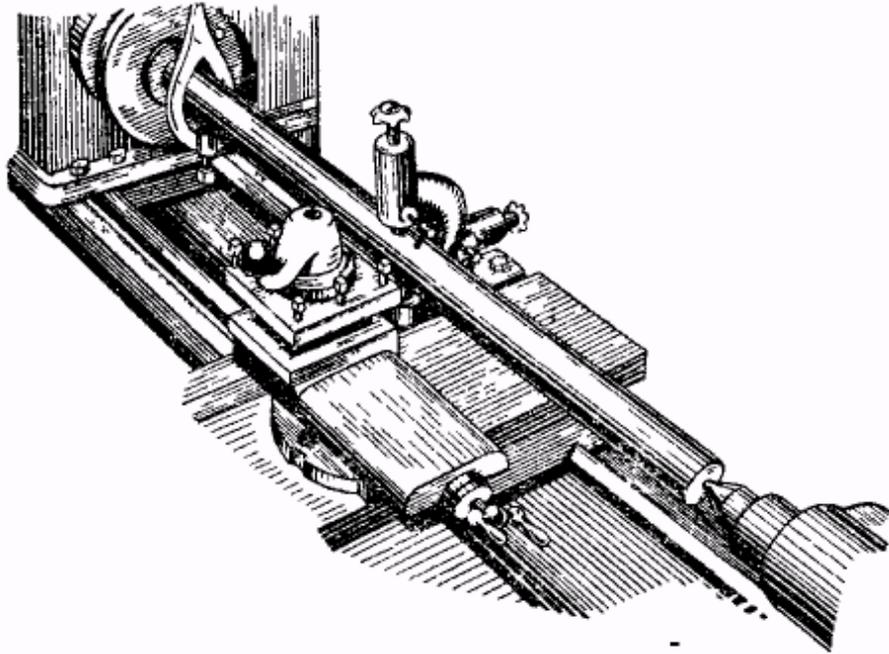


Рисунок 3.4 – Обработка с подвижным люнетом

Некоторые особые случаи применения неподвижных люнетов. Иногда обработка жесткой детали затрудняется или даже оказывается невозможной ввиду недостаточной прочности закрепления ее только в патроне. Если использовать задний центр почему-либо нельзя, применяют неподвижный люнет, как, например, при обтачивании торца вала, не имеющего центрального отверстия.

3.2. Проектирование неподвижного люнета

Люнеты, как известно, применяются в качестве дополнительных опор при обработке нежестких валов.

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						

Используются универсальные неподвижные или подвижные люнеты с раздвижными кулачками и специальные, предназначенные для обработки определенных деталей или для поддержания приспособления, установленного на шпинделе станка и имеющего большой вылет.

Обычные конструкции неподвижных универсальных люнетов не отвечают требованиям скоростной обработки, так как кулачки люнета, изготовленные из бронзы или чугуна, быстро изнашиваются и в их сопряжении с деталью образуется зазор, что приводит к вибрациям.

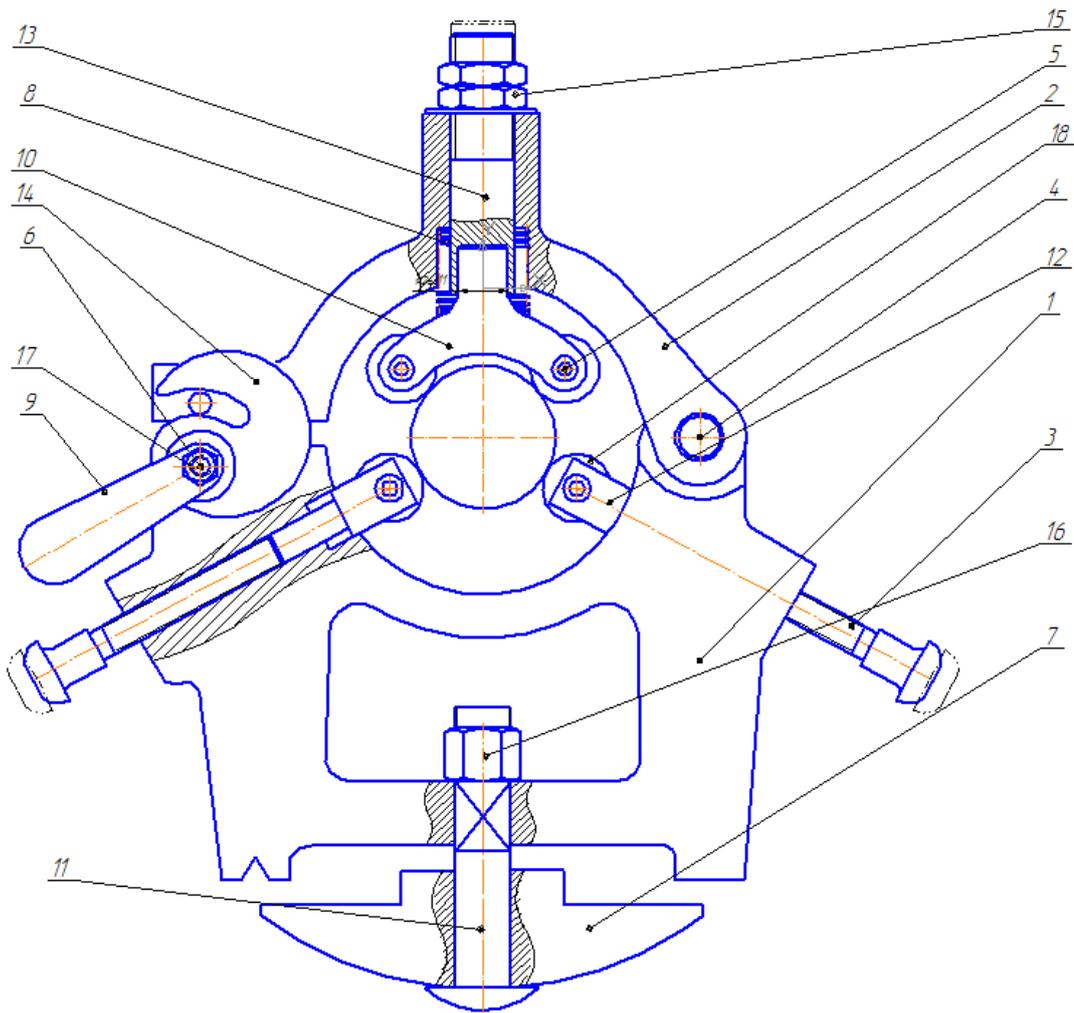


Рисунок 3.5 – Люнет

Мы предлагаем модернизировать существующие люнеты. В основании люнета кулачки заменяют шарикоподшипники, а гнездо под кулачок в крышке растачивают и вставляют в него стержень с пружиной, на котором закреплена серьга с двумя шарикоподшипниками.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		8

положения поверхности приспособления, контактирующие с заготовкой и со станком.

Проверка приспособления на точность заключается в том, чтобы определить, позволит ли это приспособление при его использовании достичь необходимой точности обработки детали.

Суть проверки состоит в определении суммарной погрешности обработки при использовании данного приспособления и сравнении этой величины с величиной поля допуска для данного номинального размера по заданному качеству точности, т.е. $\delta_{\Sigma} < T$, где $T = 0,2$ мм – допуска на размер

$\delta_{\Sigma} = k \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \delta_i\right)^2}$, где $k = 1,1$ – коэффициент, учитывающий закон распределения составляющих погрешностей;

δ_i – максимальное значение составляющих погрешностей.

$$\delta_{\Sigma} = k \cdot \sqrt{\delta_c^2 + \delta_{np}^2 + \delta_{on}^2 + \delta_o^2 + \delta_3^2},$$

Где $\delta_c = 0,02$ мм.- погрешность станка, выполняется при проверке радиального биения шпинделя.

$\delta_{np} = 0,015$ мм.- погрешность расположения поверхностей приспособления на станке.

$\delta_{on} = 0,01$ мм.- погрешность расположения опорных поверхностей относительно посадочной поверхностей приспособления.

$\delta_o = 0,01$ мм.- погрешность базирования заготовки в радиальном направлении.

$\delta_3 = 0,025$ мм.- погрешность закрепления.

$\delta_{\Sigma} = 0,04$ мм.

Условие $\delta_{\Sigma} < T$ ($0,2 > 0,018$) выполняется, значит, приспособление может обеспечивать заданную точность.

						Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

3.4.2 Расчёт и выбор посадок подшипников качения

Исходные данные:

Подшипник №205

Класс точности 0

Радиальная реакция $R = 1,6$ кН

Осевое усилие $A = 2$ кН

Характер нагрузки - с умеренными толчками и вибрациями, перегрузка до 150%.

Размеры подшипника [2]:

$$d = 25 \text{ мм}$$

$$D = 50 \text{ мм}$$

$$B = 21 \text{ мм}$$

$$r = 2 \text{ мм}$$

$$\beta = 12^\circ$$

Для циркуляционно-нагруженного кольца определяется интенсивность нагружения P_R , Н.

$$P_R = \frac{R}{B - 2r} K_{II} \cdot F \cdot F_A,$$

где R – радиальная реакция опоры на подшипник, кН

B – ширина подшипника, мм

r – радиус фасок колец подшипника, мм

K_{II} – динамический коэффициент посадки [1, табл.3.5]

F – коэффициент ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе

F_A – коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами роликов или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки на опору [1, табл. 3.2]

						Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$P_R = \frac{1,6 \cdot 10^3}{21 - 2 \cdot 2} \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 2 = 263,5 \text{ Н/мм}$$

По величине интенсивности нагружения P_R выбираем вид посадки «js» - посадка на вал

Для колец, воспринимающих колебательное и местное нагружение, выбирается вид посадки в зависимости от характера нагружения и вида корпуса

«H» - посадка в корпус

Выбор качества для посадок колец подшипников

Для вала – 6 качество

Для корпуса – 7 качество

По ГОСТ 520 – 89 и ГОСТ 25347 – 82 определяем отклонения ES, EI, ei, es, строим поля допусков по наружному (D) и внутреннему (d) диаметрам и определяем табличные натяги N_{\max} и N_{\min}

Отклонения для внутреннего кольца подшипника:

$$ES = +8 \text{ мкм}, EI = -8 \text{ мкм}$$

Отклонение для наружного кольца подшипника:

$$es = +25 \text{ мкм}, ei = 0 \text{ мкм}$$

Определяем поле допуска внутреннего (L5) и наружного (l5) колец [1, табл. 3.9]

$$L0 = -12 \text{ мкм}, l0 = -15 \text{ мкм}$$

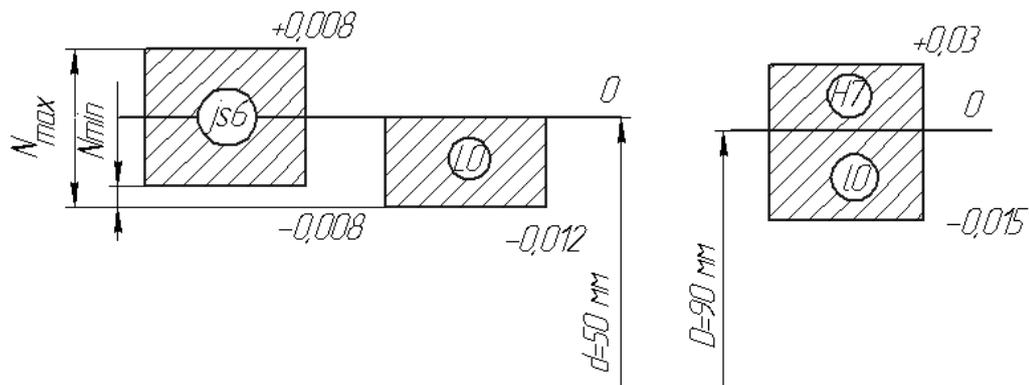


Схема расположения полей допусков

						Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$N_{min} = d_{min} - D_{max} = ei - ES \quad (3.1)$$

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = es - EI \quad (3.2)$$

$$N_{min} = -0,008 - (-0,012) = 0,004 \text{ мм}$$

$$N_{max} = 0,008 - (-0,012) = 0,020 \text{ мм}$$

2.6 Вычислим минимальный допустимый натяг:

$$K = \frac{1}{\left(1 - \left(\frac{d}{d_0}\right)^2\right)} \quad (3.3)$$

K - конструктивный фактор,

где d_0 – приведенный диаметр внутреннего кольца

$$d_0 = d + \frac{D - d}{4} \quad (3.4)$$

$$d_0 = d + \frac{D - d}{4} = 50 + \frac{90 - 50}{4} = 60 \text{ мм}$$

$$K = \frac{1}{\left(1 - \left(\frac{50}{60}\right)^2\right)} = 3,273$$

$$U_{\min \text{ доп}} = \frac{13 \cdot R \cdot K}{(B - 2r) \cdot 10^6} \quad (3.5)$$

где R – радиальная реакция

$$U_{\min \text{ доп}} = \frac{13 \cdot R \cdot K}{(B - 2r) \cdot 10^6} = \frac{13 \cdot 1,6 \cdot 10^3 \cdot 3,273}{(21 - 2 \cdot 2) \cdot 10^6} = 0,004 \text{ мм} = 4 \text{ мкм}$$

Условие $N_{\min} \geq U_{\min \text{ доп}}$ выполняется,

$0,004 = 0,004$ - условие выполнено

2.7 Вычислим максимальный допустимый натяг:

						Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$U_{\max \text{ don}} = 11,4 \frac{[\sigma_{\text{don}}]}{(2K - 2) \cdot 10^6} \cdot K \cdot d \quad (3.6)$$

где $[\sigma_{\text{don}}] = 400$ – предел прочности шарикоподшипниковой стали

$$U_{\max \text{ don}} = 11,4 \frac{400}{(2 \cdot 3,273 - 2) \cdot 10^6} \cdot 3,273 \cdot 50 = 0,164 \text{ мм}$$

$N_{\max} < U_{\max \text{ don}}$ - условие выполнено.

$$0,020 < 0,164$$

Проверяем наличие посадочного рабочего зазора:

По внутреннему диаметру (d) определяем min и max радиальный зазор [1, табл. 3.11]:

$$G_{\min} = 12 \text{ мкм}, G_{\max} = 29 \text{ мкм}$$

Определяем начальный радиальный зазор:

$$G_n = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2} \quad (3.7)$$

$$G_n = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2} = \frac{29 + 12}{2} = 20,5 \text{ мкм или } 0,0205 \text{ мм}$$

Определим эффективный натяг:

$$U_{\text{эф}} = 0,85 \cdot N_{\text{cp}} \quad (3.8)$$

где N_{cp} - усреднённый натяг

$$N_{\text{cp}} = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} \quad (3.9)$$

$$N_{\text{cp}} = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} = \frac{0,020 + 0,004}{2} = 0,012 \text{ мм}$$

$$U_{\text{эф}} = 0,85 \cdot 0,012 = 0,0102 \text{ мм}$$

Определим рабочий радиальный зазор:

$$G_p = G_n - \Delta d \quad (2.11)$$

$$\text{где } \Delta d = U_{\text{эф}} \cdot \frac{d}{d_0} = 0,0102 \cdot \frac{50}{60} = 0,0085 \text{ мм}$$

$$G_p = 0,0205 - 0,0085 = 0,012 \text{ мм}$$

						Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Условие $G_p > 0$ - выполнено.

Определим усилие запрессовки подшипника на вал ($P_{запр}$):

$$P_{запр} = \frac{U_{эф} \cdot f \cdot E \cdot \pi \cdot B}{2K} \quad (3.10)$$

Где $f = 0,14$ - коэффициент трения при запрессовке

$E = 2 \cdot 10^{11} [Па]$ - модуль упругости стали

$$P_{запр} = \frac{0,0102 \cdot 0,14 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,14 \cdot 21 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,273} = 2876,9 \text{ Н}$$

Определим температуру нагрева подшипника в масле для установки его на вал:

$$t_{под} = \frac{N_{max} + S_{сб}}{\alpha \cdot d} + 20^0 C \quad (3.11)$$

где $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} [^0 C^{-1}]$ - температурный коэффициент линейного расширения подшипниковой стали

$S_{сб} = 0,008 \text{ мм}$ - сборочный зазор

$$t_{под} = \frac{0,020 + 0,008}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 50} + 20^0 C = 66,7^0 C$$

						Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Организационно-технические пути предупреждения несчастных случаев при работе на металлорежущих станках

Актуальность проблем безопасности при работе на металлорежущих станках особенно велика в связи с большим контингентом рабочих, занятых обработкой резанием металлов и неметаллических материалов. Причины несчастных случаев различные, конструктивные недостатки отдельных моделей станков, недостатки в организации труда, нарушения инструкций по технике безопасности и правил внутреннего распорядка работающими.

При создании принципиально новых технологических процессов необходимо предвидеть возможность появления новых опасных факторов и на основе прогноза предусматривать соответствующие средства обеспечения безопасности.

Повышение режимов резания и внедрение станков, а также новых технологических процессов способствовали резкому росту производительности труда. Одновременно с этим возникли задачи: надежности оградительной техники и предохранительных устройств при работе в новых условиях, обеспыливания при обработке хрупких металлов и неметаллических материалов, защиты рабочих от травм стружкой, надежного закрепления обрабатываемого материала и режущего инструмента, безопасности вспомогательных приспособлений, рационального использования сигнальных цветов и знаков безопасности и ряд других задач, связанных с техникой и организацией безопасности труда при работе на металлорежущих станках. Классификация основных технических средств безопасности приведена ниже.

Основные технические средства безопасности

Класс 1. Ограждения опасных зон:

движущихся частей станков и механизмов, режущих инструментов; зон выделения отлетающих частиц обрабатываемого материала (стружка, пыль);

токоведущих частей электрооборудования; зон высоких температур и вредных выделений, люков, каналов и различных проемов; рабочих площадок, расположенных на высоте.

Класс 2. Предохранительные устройства: от перегрузки станков; от перехода движущихся узлов за установленные пределы; от внезапного превышения или падения давления; от внезапного падения или повышения напряжения электрического тока; для других случаев обеспечения безопасности автоматическим регулированием.

Класс 3. Сигнализация безопасности: прибороуказательная; звуковая; цветосветовая; знаковая.

Класс 4. Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условия работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационное™. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибраций не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменной станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;

2) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;

3) если главный угол в плане меньше 45° ;

4) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся масс* в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

1) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;

2) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;

3) регулирования собственной частоты этих звеньев;

4) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

1. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

2. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

3. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане $\angle \rho$ и \wedge возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы ρ в пределах $70—80^\circ$;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об

обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Класс 5. Системы дистанционного управления: механическая; пневматическая; гидравлическая; электрическая; комбинированная; электронно-управляющие машины.

Класс 6. Средства индивидуальной защиты: очки, наголовные щитки; антифоны, наушники; спецобувь; спецодежда; головные уборы (косынка, берет).

Класс 7. Профилактические испытания: на механическую прочность; на герметичность; на электрическую прочность; на эффективность средств индивидуальной защиты; на надежность срабатывания предохранительных устройств и блокировок.

Класс 8. Специальные средства обеспечения безопасности: защитное заземление; манипуляторы — простые и с программным управлением (промышленные роботы); средства дробления сливной стружки в процессе резания; средства удаления элементной стружки и пыли из зоны резания при обработке хрупких материалов; искусственное освещение станков; ограничители шума и вибраций; эргономические и эстетические мероприятия. Создание безопасных и здоровых условий труда при обработке металлов резанием зависит от деятельности различных категорий работников, от их творческой активности при решении вопросов безопасности.

Для того чтобы труд рабочих был безопасным, необходимо прежде всего в конструкции станков, различных вспомогательных устройств и приспособлений предусматривать все необходимые средства безопасности. Это является обязанностью конструкторов, создающих станки и приспособления. Кроме того, нужно, чтобы организация труда на рабочем

месте и его оснащение отвечали требованиям безопасности. Это относится к деятельности ИТР заводов-потребителей станков. При этом имеется в виду, что работа производится в помещении, полностью отвечающем санитарным нормам.

В соответствии с отраслевым стандартом станкоинструментальной промышленности ОСТ 2Э59-3-72 на наружных сторонах дверей шкафов с электрооборудованием, крышек разветвленных коробок и других электрических устройств должен предусматриваться (укрепляться или наноситься) предупреждающий знак напряжения (рисунок 4.1 а), а по ОСТ 2Э59-10-72 над винтами заземления необходимо укреплять знак заземления (рисунок 4.1б).

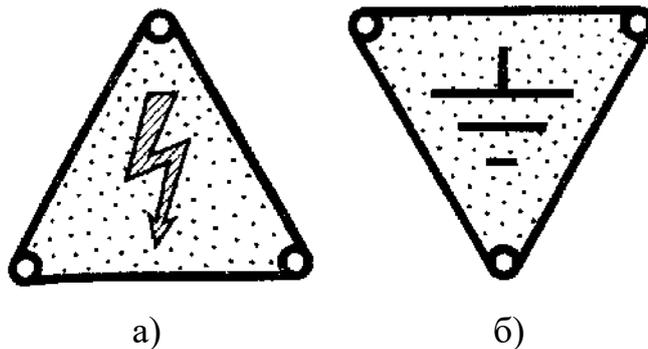


Рисунок 4.1. – Предупреждающие знаки

Для безопасности станки снабжаются различными предохранительными устройствами, автоматически устраняющими опасность возникновения аварии, поломки из-за нарушения технологического процесса, расстройств работы станка, перегрузки или перехода движущихся частей за установленные границы.

4.2 Основные положения по организации воздухообмена

При общеобменной вентиляции необходимый объем вентиляционного воздуха заносит от количества выделяющихся вредных веществ, их предельно допустимых концентраций, а также от распределения этих

концентраций по площади и по высоте помещения. Характер распределения тепла, влаги и концентрации примесей вредных веществ в помещении при вентиляции и воздушном отоплении определяется главным образом возникающими воздушными течениями, которые, в свою очередь, зависят от принятого способа организации воздухообмена.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационностиTM. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве

критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;

5) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;

6) если главный угол в плане меньше 45° ;

7) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся масс* в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

5) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;

6) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;

7) регулирования собственной частоты этих звеньев;

8) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

4. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

5. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

6. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане $\angle \rho$ и $\hat{}$ возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы ρ в пределах $70\text{—}80^\circ$;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Таким образом, для обоснованной организации воздухообмена в производственных помещениях необходимо знание закономерностей

формирования и развития вентиляционных и тепловых струй и создаваемых ими циркуляционных течений.

4.3 Расчет вентилятора

Одним из важных мероприятий обеспечивающих охрану здоровья рабочих и высокую производительность, является вентиляция. Расчет вентиляции сводится к определению мощности на привод вентилятора и марки вентилятора.

Мощность электродвигателя подсчитывают по следующей формуле:

$$N_{\epsilon} = \frac{W_{\epsilon} \cdot H_{\epsilon} \cdot \beta}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (4.1)$$

где N_{ϵ} – мощность электродвигателя, кВт;

H_{ϵ} - напор вентилятора, мм.вод.ст. (колеблется от 100 до 200 в зависимости от вредности цеха);

W_{ϵ} - производительность вентилятора, м³/ч;

η_{ϵ} коэффициент полезного действия вентилятора, (0,5 – 0,6) [19];

β - коэффициент запаса мощности, (1- 1,5).

Производительность вентилятора подсчитывают исходя из объема помещения и кратности обмена воздуха:

$$W_{\epsilon} = V_0 \cdot K, \quad (5.2)$$

где V_0 – объем цеха, м³;

K – кратность обмена воздуха, ч⁻¹.

Кратность обмена для механического цеха может быть принята следующей: $K=(4 - 6)$;

$$W_{\epsilon} = 137 \cdot 5 = 685 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$N_{\epsilon} = \frac{685 \cdot 100 \cdot 1}{3600 \cdot 102 \cdot 0,5} = 0,4 \text{ кВт.}$$

Расчеты сведены в таблицу 4.1

Таблица 4.1 – Характеристики вентилятора

№ п/п	Наименование участка	Объем помещений, м ³	Производительность, м ³ /ч	Марка вентилятора	Мощность двигателя, кВт	Кратность Воздуха Обм,ч ⁻¹
1	Механический	137	685	Ц4-70№3	0,4	4-6

4.4 Инструкция по безопасности труда при изготовлении опоры

«Утверждено»
на заседании профкома

Утверждаю

ИНСТРУКЦИЯ

по безопасности труда для слесаря-станочника

Инструкцию составил:

Инженер по охране труда

Согласовано:

Руководитель подразделения

1. Общие требования

1.1. К работе на станке допускаются лица: старше 18 лет; имеющие удостоверение; прошедшие мед. освидетельствование и инструктаж по технике безопасности.

1.2. На рабочем месте запрещается заниматься посторонними делами.

1.3. Соблюдать требования пожарной безопасности

1.4. Соблюдать правила личной гигиены и требований безопасности .

1.5. За несоблюдение правил данной инструкции рабочий несет полную ответственность.

1.6. При работе на токарно-винторезном станке по металлу возможно воздействие на работающих следующих опасных производственных факторов:

- Отсутствие ограждения приводных ремней станка, защитного кожуха патрона и защитного экрана;

- Непрочное закрепление заготовки и инструмента;

- Неисправности и притупление режущего инструмента;
- Неисправности электрооборудования станка и заземления его корпуса.
- Работа с вращающимися механизмами
- Возможность попадания стружки и других металлических материалов в органы зрения, дыхания или на кожу.

- Работа с СОЖ

- Газовые, паровые выделения при работе за станком

1.7. При ремонте станка и пусковых устройств на станке должен быть вывешен плакат: «Не включать — ремонт»

2. Требования безопасности перед началом работы

2.1. Одеть спец. одежду, обувь и защитные очки. Рукава должны быть застегнуты. Пояс завязан, а концы пояса убраны. Лица, имеющие длинные волосы, должны работать в берете или косынке с короткими концами.

2.2. Ознакомится с инструкцией, и расписаться в журнале инструктажа.

2.3. Подготовить станок к работе. Проверить уровень масла, крепление резцов и заготовки, действие механизмов, подтянуть болтовые соединения.

2.4. Убедиться, что движение механизмов не угрожает окружающим.

3. Требования безопасности во время работы.

3.1. Не передавать управление станком другим лицам.

3.2. Не допускать нахождения посторонних людей на рабочем месте.

3.3. Необходимые регулировки производить после полной остановки станка.

3.4. Запрещается тормозить станок путем накладывания руки на вращающиеся части и не касаться на ходу вращающихся и движущихся частей станка.

3.5. Запрещается облакачиваться на станок во время его работы, передавать и принимать что-либо через станок.

3.6. Удаление стружки со станка производить только с помощью крючка или щетки. Стружка должна быть убрана в специальную обведенную тару.

3.7. При креплении детали в патроне никогда не выпускать ключ из рук и не оставлять его в патроне. Клади его только на предназначенное для него место.

3.8 Нельзя работать на неисправном и не имеющем необходимых ограждений станке. Не производить ремонт и переделку станка самостоятельно

3.9 Применять только исправные гаечные ключи соответствующих размеров

3.10 Не мыть руки в масле, эмульсии, керосине и не вытирать их обтирочными концами, загрязненными стружкой

3.11. Не принимать пищу у станка

3.12. Не оставлять свою одежду на рабочем месте

3.13. Не работать без кожуха, прикрывающего сменные шестерни

3.14. Не разрешать уборщику убирать у станка во время его работы

3.15. Не опираться на станок во время его работы и не позволять делать это другим

4. Требования безопасности при аварийных ситуациях.

4.1. При возникновении аварийной ситуации необходимо немедленно остановить станок путем выключения электропитания двигателя.

4.2. При необходимости уметь оказать первую помощь пострадавшему

5. Требования безопасности по окончании работы.

5.1. Обесточить станок.

5.2. Привести в порядок рабочее место.

5.3. Снять спец. одежду, обувь, помыть руки и принять душ.

6. Ответственность.

За нарушение требований безопасности данной инструкции и производственной санитарии станочник несет дисциплинарную, материальную и уголовную ответственность.

Разработал:

Согласовано: специалист

4.6 Производственная гимнастика на рабочем месте

Производственная физическая культура - система методически обоснованных физических упражнений физкультурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, направленных на повышение и сохранение устойчивой профессиональной дееспособности. Форма и содержание этих мероприятий определяются особенностями профессионального труда и быта человека. Заниматься ПФК можно как в рабочее, так и в свободное время.

В рабочее время производственная физическая культура (ПФК) реализуется через производственную гимнастику.

Производственная гимнастика - это комплексы специальных упражнений, применяемых в режиме рабочего дня, чтобы повысить общую и профессиональную работоспособность, а также с целью профилактики и восстановления.

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику.

Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационностиTM. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3 \text{ мм}$, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменных станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или «хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\phi = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 8) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 9) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 10) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся* масс в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого

невыгодного изменения характеристик системы.

Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

9) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы,

вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;

- 10) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 11) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 12) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

7. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

8. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

9. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане ϕ и α возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание)

следует выбирать углы срез в пределах 70—80°;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

На места занятий гимнастикой распространяются и другие правила безопасности: ограждение проводов высокого напряжения, ограждение от непосредственного влияния лучистой энергии и др.

Во избежание травм при занятиях гимнастикой полы должны быть гладкими, нескользкими, удобными для уборки. Перед занятиями (не позже чем за 30 мин) в производственном помещении следует произвести влажную уборку (перед подметанием посыпать пол влажными опилками).

В любом виде человеческого труда наблюдаются три фазы: вработываемость, стабильная работоспособность и снижение работоспособности. Это явление объясняется особенностями работы центральной нервной системы.

Вначале требуется определённое время на переключение внимания человека от домашних и прочих забот на трудовую деятельность, т. е. восстановление стереотипа рабочих движений. Продолжительность фазы

вработываемости зависит от характера труда и может составлять от 10-20 мин до 1 часа. При простых рабочих движениях этот период короче, при сложных, требующих значительного напряжения внимания, он длиннее.

Длительность фазы стабильной работоспособности также зависит от характера труда. Она может занимать от 2 до 6 часов. При простых разнообразных рабочих движениях этот период длиннее, а при напряжённом труде, с большими требованиями к безошибочности движений – короче. При тяжёлом физическом труде фаза стабильной работоспособности также короче. В основе этого лежит утомление центральной нервной системы. К этой причине добавляется и утомление мышц, глаз и прочих рабочих органов.

Научная организация труда призвана уменьшить периоды пониженной производительности, т. е. уменьшить фазу вработываемости и фазу снижения работоспособности. Это достигается разумным чередованием работы и отдыха, правильной организацией рабочих мест, использованием функциональной музыки, средств производственной гимнастики утренней гимнастики, вводной гимнастики и физкультурной паузы).

Возникновение вибраций при резании нарушает правильное течение технологического процесса, а во многих случаях делает невозможным продолжение работы. Поэтому уже в течение многих лет усилия как работников производства, так и исследователей направлены на борьбу с этим вредным явлением. В последнее время интерес к вопросу устранения вибрации возрос еще больше вследствие необходимости использовать хрупкие материалы для изготовления инструментов, в частности минералокерамику. Однако лишь после того, как явление вибраций при резании было в некоторой степени изучено, в частности, выявлены причины возникновения колебаний и факторы, его определяющие, оказалось возможным поставить борьбу с вибрациями на твердую почву найти возможные направления такой борьбы и перейти к созданию необходимых устройств для гашения вибрации,

При исследовании вибраций и оценке различных условий работы с точки зрения возможности возникновения колебаний большое значение имеет четкое определение понятия «виброустойчи-

Мы полагаем, что следует считать недопустимой работу при наличии сколько-нибудь заметных вибраций. Именно такой, казалось бы» несколько субъективный признак является наиболее обоснованным, так как первое влияние, которое оказывают вибрации, это влияние на физическое и психическое состояние рабочего, обслуживающего как данный, так и окружающие станки, шум от вибраций вредно действует на нервную систему и лишает возможности спокойно работать.

Кроме характерного шума, признаком вибрационного режима является наличие волн на поверхности резания, заметных невооруженным глазом или обнаруживаемых при проверке индикатором. При «спокойном» резании высота таких волн и неровностей («продольная шероховатость») не превышает 30 мк.

Если не заметно ни шума, ни следов вибраций, то режим работы при выполнении обычных операций можно считать практически *безвибрационным*.

В противоположность безвибрационному режиму рассматриваем режим *заведомо вибрационный*, при котором слышен резкий звук и на поверхности резания заметны невооруженным глазом волны, высота которых превышает 30 мк.

Режим, который по одним признакам является вибрационным, а по другим безвибрационным, будем считать *переходным*, относя его к вибрационному или безвибрационному режиму, смотря по преобладанию признаков того или иного рода, а также по степени четкости их проявления.

В дальнейшем мы будем руководствоваться именно такими характеристиками режима работы с точки зрения его вибрационностиTM. Эти характеристики достаточны для оценки режима в обычных условиях обработки.

Заметим, что при особо качественной чистовой обработке к режиму работы могут быть предъявлены и более высокие требования, заключающиеся главным образом в обеспечении определенной высокой чистоты поверхности.

Условия выполнения работы (режимы резания, инструмент, станок и т. д.) могут способствовать возникновению вибраций в большей или меньшей степени. Для возможности числовой оценки этой способности необходимо установить некоторые *критерии виброустойчивости*.

В качестве таких критериев могут быть выбраны любые параметры, сильно влияющие на возможность возникновения и на интенсивность вибраций. При этом все параметры, кроме выбранного в качестве критерия виброустойчивости, предполагаются имеющими вполне определенные значения и при испытаниях остаются постоянными; критерий характеризует виброустойчивость в заданных условиях.

Различаем: 1) критерии, относящиеся к оборудованию и к обрабатываемым деталям, 2) критерии, относящиеся к инструменту и к режимам резания.

В качестве критериев могут быть выбраны, например, наибольшая ширина среза, или наибольшая скорость резания, при которых работа может производиться без вибраций. Установив значение такого критерия для заданных условий работы, мы можем составить суждение о степени виброустойчивости системы в этих условиях.

Для испытания на виброустойчивость токарных станков с высотой центров 200 мм был предложен следующий метод

Если при $t = 1$ мм безвибрационная работа не обеспечивалась, то станок получал оценку «неудовлетворительно».

Если при $t = 1$ мм вибрации не возникали, но при $t = 1,5$ мм возникли, то станок оценивался баллом «удовлетворительно».

В случае отсутствия вибраций при $t = 1,5$ мм но их наличия при $t = 3$ мм станок оценивался как «хороший».

Наконец, если вибрации не возникали и при глубине резания $t = 3$ мм, то станок получал оценку «отлично».

При испытании по такому методу девяти станков лаборатории восемь получили хорошую оценку, один — удовлетворительную. Произведенная оценка, как было указано, относится к станкам с высотой центров 200 мм для случая продольного обтачивания. Для станков других размеров и других условий обработки значения допустимых глубин резания, соответствующих различным оценкам, изменяются. Желая определить влияние какого-либо фактора на виброустойчивость (например, замены жесткого центра вращающимся), находим наибольшую глубину резания, при которой еще возможна работа без вибраций для обоих условий работы.

Если при неизменной станке и обрабатываемой детали изменяется инструмент или режим резания, то значение наибольшей допустимой глубины резания может быть использовано для оценки виброустойчивости при работе этим инструментом с тем или иным режимом резания. Такие испытания показали, что если станок отнесен к группам «отличных» или

«хороших», то при обработке на нем резцами с углом в плане $\alpha = 45^\circ$ и выше жестких деталей в центрах вибрации не возникали ни при каких скоростных режимах резания, согласованных с нормальной мощностью этих станков. Опасность возникновения вибраций появляется в четырех случаях:

- 1) если работа производится в патроне, особенно при больших вылетах;
- 11) если обрабатываемая деталь имеет малую жесткость;
- 12) если главный угол в плане меньше 45° ;
- 13) если станок не может быть отнесен к группе хороших при испытании по вышерассмотренной методике.

Допускаемая глубина резания $t_{\text{доп}}$ не может служить единственным, «универсальным» критерием виброустойчивости. Ее использование, как критерия, основано на существовании резко. Почти столь же универсальным средством является *уменьшение колеблющихся масс* в тех случаях, когда облегчение деталей не влечет за собою уменьшения жесткости или другого невыгодного изменения характеристик системы. *Уменьшение сил, являющихся возбудителями вибраций*, внешних при вынужденных колебаниях или внутренних при автоколебаниях, также является одним из общих средств борьбы с вибрациями.

Наконец, *увеличение сопротивлений* колебательному движению, имеющее следствием усиление рассеивания энергии возбудителей, также способствует обеспечению более спокойной работы. Заметим, что именно на этом принципе основаны конструкции многих, созданных в последнее время, виброгасителей.

Перечисленные общие направления борьбы с вибрациями не исчерпывают всех возможностей в этом направлении. Во многих случаях целесообразный выбор параметров технологической системы, а также правильная постановка технологического процесса могут обеспечить успех дела.

Причины возникновения колебаний при резании многообразны. Поэтому, приступая к борьбе с вибрациями, необходимо прежде всего определить характер явления, в частности, вызвано ли оно влиянием силы резания или является результатом действия других сил. В первом случае необходимо установить, имеет ли сила резания сама по себе колебательные свойства, например, при прерывистом резании, или же она приобретает такие свойства только в связи с возникновением колебаний (автоколебательный процесс). Если мы имеем вынужденные колебания, то, анализируя их частоту, во многих случаях можно найти и источник колебаний. Наблюдение за поведением системы при неработающем станке позволяет установить наличие или отсутствие внешних факторов, обуславливающих возникновение колебаний.

Имеется существенное различие между методами борьбы с вынужденными колебаниями и с автоколебаниями.

Устранение *вынужденных колебаний* достигается прежде всего путем:

- 13) уменьшения возмущающих сил, например, центробежной силы, вызванной плохой балансированностью вращающихся частей;
- 14) такого выбора чисел оборотов, при котором частота возмущающей силы далека от частот собственных колебаний звеньев системы;
- 15) регулирования собственной частоты этих звеньев;
- 16) изоляции станка, на котором производится работа, от влияния внешних воздействий (вибраций соседних станков и т. и.).

Устранение *автоколебаний* основано на ослаблении сил возбуждения или на усилении сопротивлений в системе. То и другое достигается путем изменения режима резания, геометрии инструмента, характеристик технологической системы и, наконец, применением специальных средств борьбы с вибрациями (виброгасителей).

2. Выбор режима резания и инструмента, обеспечивающих безвибрационную работу

При этом мы имеем в виду главным образом вибрации автоколебательного характера.

10. Во всех случаях *следует избегать снятия широких тонких стружек*. При больших глубинах резания и невозможности работы с большими подачами, ввиду недостаточной мощности или жесткости станка, целесообразно увеличить число проходов, обеспечивая требуемую производительность за счет повышения подачи.

11. *Скорость резания должна находиться вне вибрационных зон*. Следует работать либо с низкой скоростью резания, либо с очень высокой. Во многих случаях переход на режимы скоростного резания является лучшим и наиболее простым средством борьбы с вибрациями. Одновременно обеспечивается достижение высокой производительности и хорошей чистоты поверхности.

12. При установлении *геометрии инструмента*, с точки зрения борьбы с вибрациями, целесообразно:

а) выбирать значения углов в плане ϕ и α возможно большими. В условиях систем малой жесткости (обтачивание тонких валов, растачивание) следует выбирать углы с пределами $70\text{—}80^\circ$;

б) работать с положительными передними углами: при работе с отрицательными передними углами вибрации усиливаются.

Для повышения стойкости инструмента при положительных передних углах применять резцы с фаской;

в) радиус при вершине резца делать возможно малым;

г) задний угол выбирать возможно малым, однако таким, чтобы было гарантировано отсутствие сильного трения задней грани об обработанную поверхность. При работе с малыми подачами последнее соображение приводит к необходимости увеличивать задние углы;

д) не работать сильно затупленным инструментом; однако *малое притупление режущей кромки способствует ослаблению вибраций*;

е) вершину резца при наружном обтачивании располагать на высоте центра или несколько выше центра, работать с наименьшим возможным вылетом.

Схема построения комплекса упражнений производственной гимнастики для профессии «слесарь по металлообработке»:

1. Упражнения с чередованием напряжения и расслабления;
2. Дыхательная гимнастика.
3. Упражнения на координацию движений;
4. Упражнения для глаз.
5. Упражнения для нижних конечностей.
6. Упражнения для мышц спины.
7. Упражнения для мышц туловища, рук и ног.

5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

5.1 Расчет балансовой стоимости приспособления

Экономический эффект от применения приспособлений определяют путем сопоставления годовых затрат и годовой экономии для сравниваемых вариантов обработки деталей. Годовые затраты состоят из амортизационных отчислений и расходов на содержание и эксплуатацию приспособления. Годовая экономия получается за счет снижения трудоемкости изготовления обрабатываемых деталей, т. е. за счет сокращения затрат на заработную плату рабочих-станочников и уменьшения цеховых накладных расходов.

Применение приспособления экономически выгодно в том случае, если годовая экономия от его применения больше годовых затрат, связанных с его эксплуатацией. Экономическая эффективность применения любого приспособления определяется также величиной срока окупаемости, т. е. срока, в течение которого затраты на приспособление будут возмещены за счет экономии от снижения себестоимости обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях с целью достижения высокой точности обрабатываемых деталей применяют приспособления независимо от их экономической эффективности.

При технико-экономических расчетах, производимых при выборе соответствующей конструкции приспособления, необходимо сопоставлять экономичность различных конструктивных вариантов приспособлений для конкретной операции обрабатываемой детали. Считая, что расходы на режущий инструмент, амортизацию станка и электроэнергию для этих вариантов одинаковы, определяют и сравнивают лишь те элементы себестоимости операции, которые зависят от конструкции приспособления.

Масса приспособления определяется по формуле:

$$G_m = (G_k + G_z) \cdot K, \text{ кг} \quad (5.1)$$

где G_k – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг.;

G_r – масса готовых узлов и агрегатов, кг.;

K – коэффициент учитывающий массу расходованных на изготовление конструкций монтажных материалов

$$K=1,05\dots 1,15$$

Массу сконструированных деталей, узлов и агрегатов заносим в таблице 5.1

Таблица 5.1- Расчет массы сконструированных узлов

Наименование детали	Объем детали, см ³	Удельный вес, кг/см ³	Масса детали, кг
1	2	3	4
Корпус	246	$7,8 \times 10^{-3}$	1,92
Крышка	152	$7,8 \times 10^{-3}$	1,18
Стержень	168	$7,8 \times 10^{-3}$	1,310
Направляющая	96	$7,8 \times 10^{-3}$	0,748
Всего	-	–	5,15

$$G_M = (5,15 + 10,67) \cdot 1,05 = 16,35 \text{ кг.}$$

Для определения стоимости конструкции машин воспользуемся способом аналогии по сопоставимости массы

$$C_{\bar{o}} = \frac{C_{стар} \cdot G_{стар} \cdot \sigma}{G_{нов}} \quad (5.2)$$

где $C_{стар}$, $C_{\bar{o}}$ – балансовая стоимость проектируемой и старой конструкции, руб. ;

$G_{стар}$, $G_{нов}$. – масса старой и проектируемой конструкции ;

σ – коэффициент удействия конструкции ($\sigma = 0,9 \dots 0,95$)

$$C_{\bar{o}} = \frac{14000 \cdot 15,6 \cdot 0,95}{16,35} = 12689 \text{ руб.}$$

Для расчетов принимаем $C_{\bar{o}} = 12500$ рублей.

5.2 Расчет технико-экономических показателей эффективности конструкции

Исходные данные для расчета заносим в таблицу 5.2

Таблица 5.2 -Исходные данные для расчета

Наименование	Исходные	Проект
Масса конструкции G , кг.	15,6	16,35
Балансовая стоимость $C_б$, руб.	14000	12500
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Разряд работы	IV	IV
Тарифная ставка Z , руб. чел/ч	60	60
Норма затрат на ремонт и ТО A_{pmo} , %	16	16
Норма амортизации a , %	14,2	14,2
Годовая загрузка $T_{год}$, час.	1200	1200
Часовая производительность $W_ч$, шт/час	3,24	5,8
Срок службы $T_{сл}$, лет	10	10

При расчетах показатели исходной конструкции обозначаем с индексом **0**, а показатели проектируемой конструкции обозначаем индексом **1**

Металлоемкость процесса определяется по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_ч \cdot T_{год} \cdot T_{сл.}}, \text{ кг/шт.} \quad (5.4)$$

где G – масса, кг;

$N_{год}$ – годовая загрузка, шт.;

$T_{сл.}$ – срок службы, лет.

$$M_e^0 = \frac{15,6}{3,24 \cdot 1200 \cdot 10} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ кг/шт.}$$

$$M_e^1 = \frac{16,35}{5,8 \cdot 1200 \cdot 10} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ кг/шт.}$$

Фондоемкость процесса (общая):

$$F_e = \frac{C_{\bar{o}}}{W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}}, \quad (5.5)$$

где $C_{\bar{o}}$ – балансовая стоимость, руб

$$F_e^0 = \frac{14000}{3,24 \cdot 1200} = 3,61 \text{ руб./шт.};$$

$$F_e^1 = \frac{12500}{5,8 \cdot 1200} = 1,79 \text{ руб./шт.}$$

.Себестоимость работы выполняемой с помощью спроектированной конструкции и в исходном варианте:

$$S = C_{\text{зн}} + C_{\text{рмо}} + A, \quad (5.6)$$

где $C_{\text{зн}}$ – затраты на оплату труда, руб./шт.;

$C_{\text{рмо}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб./шт

A – амортизационные отчисления по конструкции, руб./шт

Затраты на заработную плату определяется по формуле:

$$C_{\text{зн}} = Z \cdot T_e, \quad (5.7)$$

$$T_e = \frac{n}{W_{\text{ч}}}, \quad (5.8)$$

где n – количество обслуживающего персонала

$$T_0 = \frac{1}{3,24} = 0,31 \text{ чел.}\cdot\text{ч/шт.}$$

$$T_1 = \frac{1}{5,4} = 0,18 \text{ чел.}\cdot\text{ч/шт.}$$

$$C_{\text{зн}}^0 = Z \cdot T_e = 60 \cdot 0,131 = 18,6 \text{ руб./шт.};$$

$$C_{\text{зн}}^1 = 60 \cdot 0,18 = 10,8 \text{ руб./шт.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяется из выражения:

$$C_{\text{рмо}} = \frac{C_{\bar{o}} \cdot H_{\text{рмо}}}{100 \cdot W_{\text{ч}} \cdot T_{\text{год}}}, \quad (5.9)$$

где H_{pmo} – норма затрат на ремонт и техобслуживание, %

$$C^0_{pmo} = \frac{14000 \cdot 14,2}{100 \cdot 3,24 \cdot 1200} = 0,52 \text{ руб./шт.}$$

$$C^1_{pmo} = \frac{12500 \cdot 14,2}{100 \cdot 5,4 \cdot 1200} = 0,27 \text{ руб./шт.}$$

Затраты на амортизацию определяется из выражения:

$$A = \frac{C_{\bar{\sigma}} \cdot a}{100 \cdot W_q \cdot T_{год}} \quad (5.10)$$

где a – норма амортизации, %

$$A^0 = \frac{14000 \cdot 10}{100 \cdot 3,24 \cdot 1200} = 0,36 \text{ руб./шт.}$$

$$A^1 = \frac{12500 \cdot 10}{100 \cdot 5,4 \cdot 1200} = 0,19 \text{ руб./шт.}$$

$$S^0 = 18,6 + 0,52 + 0,36 = 19,48 \text{ руб./шт.}$$

$$S^1 = 10,8 + 0,27 + 0,19 = 11,26 \text{ руб./шт.}$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$C_{прив} = S + E_n \cdot K_{y\partial} = S + E_n \cdot F_e, \quad (5.11)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,15$;

$K_{y\partial}$ – удельные капитальные вложения, руб./шт .

$$C^0_{прив} = 19,48 + 0,15 \cdot 3,61 = 20,02 \text{ руб./шт.};$$

$$C^1_{прив} = 11,26 + 0,15 \cdot 1,79 = 11,52 \text{ руб./шт.}$$

Годовая экономия определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{год} = (S_c - S_{np}) \cdot W_q \cdot T_{год}; \quad (5.12)$$

$$\mathcal{E}_{год} = (19,48 - 11,26) \cdot 5,4 \cdot 1200 = 53265 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект:

$$E_{год} = (C^0_{прив} - C^1_{прив}) \cdot W_q \cdot T_{год}, \quad (5.13)$$

$$E_{год} = (20,02 - 11,52) \cdot 5,4 \cdot 1200 = 55080 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{C_{\delta_0}}{\mathcal{E}_{год}} \quad 5.14$$

где C_{δ_0} – балансовая стоимость спроектированной конструкции, руб.

$$T_{ок} = \frac{12500}{55080} = 0,22$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений:

$$E_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{год}}{C_{\delta_1}} \quad 5.15$$

$$E_{эф} = \frac{55080}{12500} = 4,4$$

Таблица 5.3 Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

Наименование показателей	Базовый (исходный)	Проектируемый
Часовая производительность, шт./ч	3,24	5,4
Фондоемкость процесса, руб./шт.	3,61	1,79
Металлоемкость, г/шт.	4	2,3
Уровень эксплуатационных затрат, руб./шт.	19,48	11,26
Уровень приведенных затрат, руб./шт.	20,02	11,52
Годовая экономия, руб.	–	53265
Годовой экономический эффект, руб.	–	55080
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	–	0,22
Коэффициент эффективности доп. капитальных вложений	–	4,4

По результатам вычислений видно, что конструкция является экономически эффективной.