

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ИСПЫТАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ НА ЖЕСТКОСТЬ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по курсу «Монтаж, ремонт и испытания
станочного оборудования»
для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование
машиностроительного производства»**

Гомель 2009

УДК 621.9.06.002.5(075.8)
ББК 34.63-5-08я73
И88

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 24.04.2009 г.)*

Составитель: *Д. Л. Стасенко*

Рецензент: зав. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *М. П. Кульгейко*

И88 **Испытание** фрезерных станков на жесткость : лаборатор. практикум по курсу «Монтаж, ремонт и испытания станочного оборудования» для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / сост. Д. Л. Стасенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 16 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Раскрываются методики проведения испытаний станков на жесткость, особенности испытаний фрезерных станков, а также влияние нежесткости станков на точность обработки и способы ее повышения.

Для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

УДК 621.9.06.002.5(075.8)
ББК 34.63-5-08я73

© Стасенко Д. Л., составление, 2009
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Испытание фрезерных станков на жесткость

Цель работы: изучить влияние жесткости станков на точность обработки, методы определения жесткости отдельных узлов и системы в целом. Получить навык выполнения испытаний на жесткость консольнофрезерных станков.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.1. Изучить основные понятия и способы измерения жесткости.

Основные понятия.

Под жесткостью тела или системы тел, подразумевается их способность сопротивляться упругим перемещениям при действии приложенной к ним нагрузки. Чем меньше величина перемещения при прочих равных условиях, тем выше жесткость.

Коэффициентом жесткости или просто жесткостью называется отношение силы к величине перемещения в направлении действия силы: $c = \frac{P}{\Delta}$, где P — приложенная сила, H ; Δ — упругое перемещение в направлении действия силы, $мм$; c — жесткость, $H/мм$.

Величина, обратная жесткости, называется податливостью.

Под жесткостью системы СПИД понимается отношение составляющей усилия резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно детали, отсчитываемому в том же направлении [1]. При этом учитывается также влияние других составляющих усилия резания на величину смещения.

Недостаточная жесткость звеньев системы СПИД приводит в процессе резания к изменению взаимного расположения режущего инструмента и обрабатываемой детали, а следовательно, к искажению размера, установленного при настройке станка. В процессе резания точка приложения усилия резания, а в ряде случаев и величина усилия непрерывно изменяется. Изменение точки приложения силы и ее величины изменяет упругие перемещения узлов станка, что, в свою очередь, сказывается на взаимном расположении режущего инструмента и обрабатываемой детали. Непрерывное изменение взаимного расположения режущего инструмента и обрабатываемой

детали приводит к искажению формы обрабатываемой поверхности. Вместе с тем недостаточная жесткость звеньев системы СПИД может привести вследствие колебаний усилия резания, неуравновешенности быстровращающихся деталей станка или появления автоколебательного процесса к вибрациям станка. Вибрации являются причиной нарушения правильности работы станка, преждевременного выхода из строя режущего инструмента и ухудшения качества поверхности. В ряде случаев вибрации не позволяют работать при высоких режимах и тем самым снижают производительность станка или делают невозможным процесс резания. Жесткость станка выражается величиной нагрузки, приложенной к частям станка, несущим инструмент и заготовку, и вызывающей определенные изменения в их взаимном расположении.

Повышение жесткости станков в современном станкостроении становится особенно важным в связи с широким применением скоростных и силовых режимов при относительном уменьшении веса станка на единицу мощности двигателя привода. Например, у токарного станка ТН-20, выпускавшего до 1940 г., вес, приходящийся на 1 кВт мощности привода, составляет 0,68 т, а современного токарного станка тех же габаритов — 0,28 т.

Низкая жесткость металлорежущего станка из-за возникающих вибраций приводит к необходимости снижения скорости резания и увеличения количества проходов, что значительно уменьшает производительность и отрицательно влияет на точность обработки и чистоту поверхности.

Упругие деформации системы СПИД, в результате которых возникает изменение настроенного взаимного расположения обрабатываемой детали и режущего инструмента, появляются вследствие упругих деформаций деталей остова станка, деталей подвижных рабочих органов, несущих обрабатываемую заготовку и режущий инструмент, стыковых поверхностей подшипников и направляющих, приспособлений для закрепления обрабатываемых заготовок и режущего инструмента, самих обрабатываемых заготовок. В ряде случаев, например при кинематическом профилировании, изменения настроенного взаимного расположения обрабатываемой детали и режущего инструмента возникают вследствие деформации звеньев кинематической цепи.

Деформации стыков складываются из деформаций микронеровностей, деформаций поверхностного слоя, деформаций

самой детали, связанных с неточностью геометрической формы контактирующих поверхностей, деформаций соединительных болтов и других крепежных деталей. Если рассматривать влияние деформаций различных звеньев станка на величину суммарного перемещения режущего инструмента и обрабатываемой детали относительно друг друга в направлении изменения получаемых размеров, то оказывается, что лишь небольшая часть этого суммарного перемещения обуславливается деформациями корпусных деталей. Так, деформации станины токарного станка составляют 15%, а деформации станины и стойки горизонтально-расточных станков — 15—20% от суммарного перемещения, деформации станины и консоли фрезерного станка — 18 %. [1].

Жесткость кинематических цепей в значительной мере определяется крутильной жесткостью валов, деформациями зубьев зубчатых колес и деформациями стыковых поверхностей шпоночных и подобных соединений. Крутильная жесткость измеряется в Нм/рад . Податливость и в этом случае является величиной, обратной жесткости. При определении суммарной крутильной жесткости первоначально определяют суммарную податливость и затем находят жесткость. Если вал j кинематической цепи связан с ведущим валом, к которому приложен крутящий момент M , передачей с передаточным отношением i_j то к валу j приложен момент M/i_j .

Вал j закручивается на угол: $\varphi_j = \frac{Ml}{i_j \cdot G \cdot J_p}$, а ведущий вал повернется

вследствие закручивания вала j на угол: $\varphi_j' = \frac{Ml}{i_j^2 \cdot G \cdot J_p}$. Вследствие

закручивания всех валов кинематической цепи ведущий вал повернется на угол: $\varphi_\Sigma = \sum \frac{Ml}{i_j^2 \cdot G \cdot J_p}$, а суммарная крутильная

жесткость будет равна: $c_{кз} = \frac{M}{\varphi_\Sigma}$.

Если последним звеном кинематической цепи является ходовой винт, то ошибка в положении подвижного рабочего органа будет определяться как закручиванием валов кинематической цепи, так и деформациями растяжения (сжатия) ходового винта. При определении крутильной жесткости учитывается также переменность сечения каждого из валов [3].

При измерении жесткости соответствующие узлы нагружают с помощью динамометра той или иной конструкции, а возникающие в

процессе нагружения упругие смещения измеряют индикатором.

В качестве примера рассмотрим схему измерения жесткости шпиндельного узла фрезерного станка (рис. 1.). Нагружение осуществляется с помощью динамометра 5. В отверстие одного из ушков динамометра входит оправка 8, закрепленная в шпинделе станка, а с другим ушком динамометра жестко связан винт 4, который соединен стяжной гайкой 3 с шарнирным винтом 2. Колодка 1, в которой расположена ось шарнирного винта 2, прикреплена к столу станка. Винты 2 и 4 имеют нарезку одного направления, но с разным шагом, что позволяет осуществить малые перемещения динамометра 5. При вращении гайки 3 возникают силы, которые с одной стороны действуют на оправку 8, с другой — на стол станка. Кольцо динамометра 5 деформируется. Деформации кольца измеряются индикатором 6. Деформации прямо пропорциональны силам. Таким образом, при тарировке динамометра можно установить зависимость между силой и показаниями индикатора 6. Прикладывая с помощью динамометра ряд постепенно возрастающих нагрузок к шпинделю станка, с помощью неподвижно закрепленного индикатора 7 регистрируют смещение шпинделя. Плоскости приложения силы измерения смещений должны совпадать или находиться близко друг к другу.

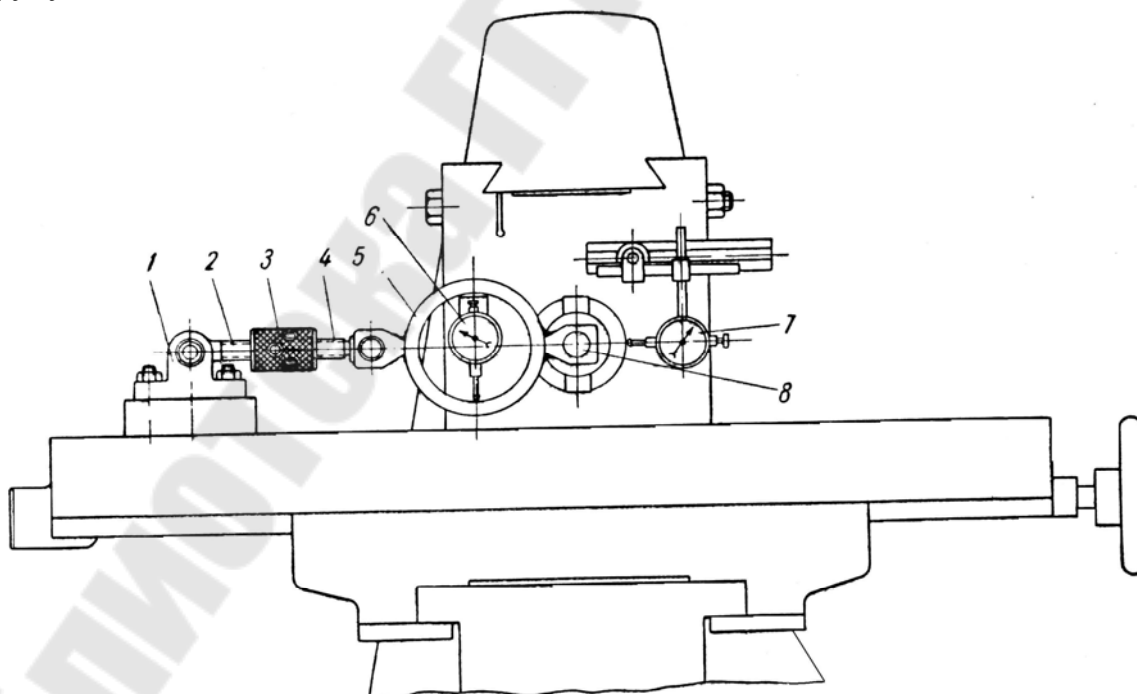


Рисунок 1. Схема измерения жесткости шпиндельного узла фрезерного станка

Предварительно нагрузив несколько раз исследуемый узел, приступают к исследованию жесткости. Постепенно увеличивая нагрузку, регистрируют силы и смещения. Доведя нагрузку до максимального значения, разгружают шпиндель и изменяют направление нагружения, также регистрируя при этом значения нагрузки и смещений. На основе полученных данных строят график жесткости. Разрыв графика характеризует зазор в стыках.

Экспериментально полученные графики могут иметь различную форму. Вогнутый график свидетельствует о наличии в системе детали с малой жесткостью. После окончания деформаций этой детали жесткость повышается. Выпуклый график свидетельствует о наличии предварительно нагруженной детали. Очень малый подъем графика на начальном участке свидетельствует о перемещении в пределах зазора при наличии сил трения.

Динамометр рассмотренной конструкции дает возможность прикладывать только одну из составляющих сил резания. Более сложные конструкции динамометров позволяют нагружать исследуемый узел одновременно несколькими силами, действующими в направлении составляющих сил резания. В первом случае мы получаем данные, характеризующие конструкцию узла с точки зрения его жесткости и качества сборки, во втором — мы получаем более полную картину, характеризующую влияние жесткости узла на точность и виброустойчивость.

Жесткость серийных моделей станков нормируется соответствующими ГОСТами.

Металлорежущие станки, которые согласно действующим ГОСТам при изготовлении испытываются на жесткость, после капитального или среднего ремонта также подлежат проверке на соответствие нормам жесткости, установленным стандартами.

Проверка зазоров и жесткости узла шпинделя. Хорошая работа узла шпинделя во многом зависит от точности регулировки и установки радиальных и осевых зазоров в сопряжении шпиндель — подшипник, а также от правильности посадки подшипников в корпусе.

Определение радиальных зазоров в сочленении шпиндель-подшипник производят следующим образом. Движением подвижного узла станка нагружают шпиндель в определенном направлении, затем нагрузку снимают и замечают положением стрелки индикатора. Далее нагружение осуществляют в противоположном направлении и

замечают положение стрелки индикатора после снятия нагрузки. Обнаруженная при этом разность показаний стрелки индикатора будет соответствовать величине зазора.

Осевые зазоры определяют при нагружении шпинделя с усилием, равным или несколько большим, чем вес самого шпинделя. Для определения радиальных зазоров рекомендуется прикладывать усилие, равное удвоенному весу шпинделя. После этого производят проверку жесткости узла шпинделя, которая осуществляется в тех же направлениях, что и проверка зазоров. Цель этой проверки — выявление дефектов, связанных с посадкой подшипников в корпус, а также упорных колец или шарикоподшипников, и контроль надежности их крепления на шпинделе [2].

Проверка жесткости большого числа узлов шпинделя различных станков подтвердила целесообразность проведения этого мероприятия, так как в ряде случаев выявляются дефекты, которые были бы обнаружены лишь после определенного промежутка времени при эксплуатации.

Величину нагружения шпинделя при проверке узла на жесткость устанавливают по результатам измерения жесткости ряда однотипных узлов нормально работающих станков. При этом выявляется узел шпинделя с наивысшей жесткостью, который принимается за эталон.

При ремонте и модернизации металлорежущих станков целесообразно выявить суммарную жесткость отдельных узлов. Проверку вновь изготовленных фрезерных станков на жесткость производят по ГОСТу 7895—92, этот же ГОСТ применяется в передовых ремонтных службах при проверке станков после капитального и среднего ремонтов. По ГОСТу 7895—92 измеряется суммарная жесткость системы станок—деталь—инструмент с помощью специальных приспособлений, при этом нагрузка на оправку подается под углом к горизонту, чем имитируются реальные условия нагружения, имеющие место при обработке деталей, и измеряются изменение взаимного расположения узлов станка.

Величина нагрузки, взаимное расположение узлов станка и деталей приспособления и допускаемые величины упругих отжатый системы четко фиксированы ГОСТом на приемку станков на жесткость.

Для определения жесткости системы делается подряд три нагружения и фиксируются величины упругих перемещений. За величину отжатия

принимается средняя величина из трех измерений.

Жесткость системы равна частному от деления величины нагрузки P на величину упругого сжатия y : $c = \frac{P}{y}$.

1.2 Выполнить экспериментальные измерения податливости стола, поперечных салазок, шпинделя и системы шпиндель-стол-салазки.

Экспериментальное измерение податливости шпинделя выполняют в соответствии с рекомендациями изложенными в п.1.1 (рис.1), при этом необходимо индикатор расположить на неподвижной части станка. Измерения выполняются в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Экспериментальное измерение податливости стола со шпинделем выполняется при установке индикатора на столе станка в направлении его движения с обратной стороны приложенной нагрузки. Нагружение выполняется при среднем положении стола относительно оси вращения шпинделя в направлении движения стола. Определение податливости стола выполняется путем отнимания значений податливости шпинделя выполненной при измерении в направлении движения стола.

Измерение податливости поперечных салазок выполняется аналогично измерениям податливости стола во взаимно перпендикулярном направлении.

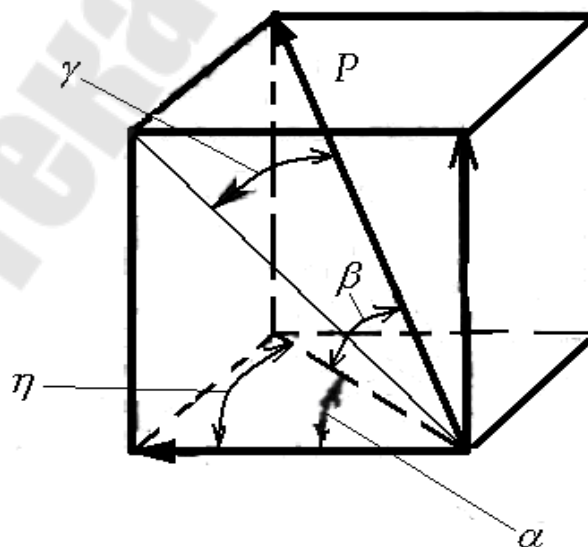


Рисунок 2 Схема действия сил

Экспериментальное измерение суммарной податливости шпинделя – стола – салазок выполняют в соответствии со схемами измерений (рис. 2 - 4). Относительное допускаемое перемещение под нагрузкой стола и оправки, закрепленной в шпинделе 360 мкм (6P80Г, 6P80, 6P10) при прилагаемой силе $P = 5000$ Н; ; 220 мкм при прилагаемой силе $P = 4000$ Н для горизонтального шпинделя (6P80Ш).

Выдвижную гильзу 1 шпинделя в станках с вертикальным шпинделем устанавливают в верхнее положение, поворотную головку в нулевое положение. В отверстие шпинделя плотно вставляют оправку 2 (конусная часть образующей диска оправки наклонена к ее оси. под углом γ) и жестко закрепляют шомполом.

В станках с горизонтальным шпинделем на свободный конец оправки надевают серьгу 4 и закрепляют на хоботе в заданном положении. Хобот устанавливают заподлицо с задней стенкой станины. На столе жестко закрепляют устройство для создания нагружающей силы P , для измерения которой используют диаметр. Перед каждым испытанием хоботу с серьгой, консоли, салазкам, столу и выдвижной гильзе шпинделя сообщают перемещения с последующей их установкой в заданное положение, а шпинделю - поворот. При этом консоль подводят в положение проверки перемещением снизу вверх, салазки - перемещением от зеркала станины, хобот с серьгой - перемещением от зеркала станины, а стол устанавливают в среднее положение перемещением справа налево.

При испытании поворотный стол, хобот и выдвижную гильзу шпинделя закрепляют на станине. Индикатор 3 укрепляют на устройстве для нагружения или непосредственно на столе так, чтобы его измерительный наконечник касался торца диска оправки в точке, расположенной у его периферии в горизонтальной плоскости, проходящей через ось оправки на станках с горизонтальным шпинделем; на станках с вертикальным шпинделем – в точке образующей цилиндрического пояса, лежащей в плоскости, проходящей через ось оправки и перпендикулярной к зеркалу станины

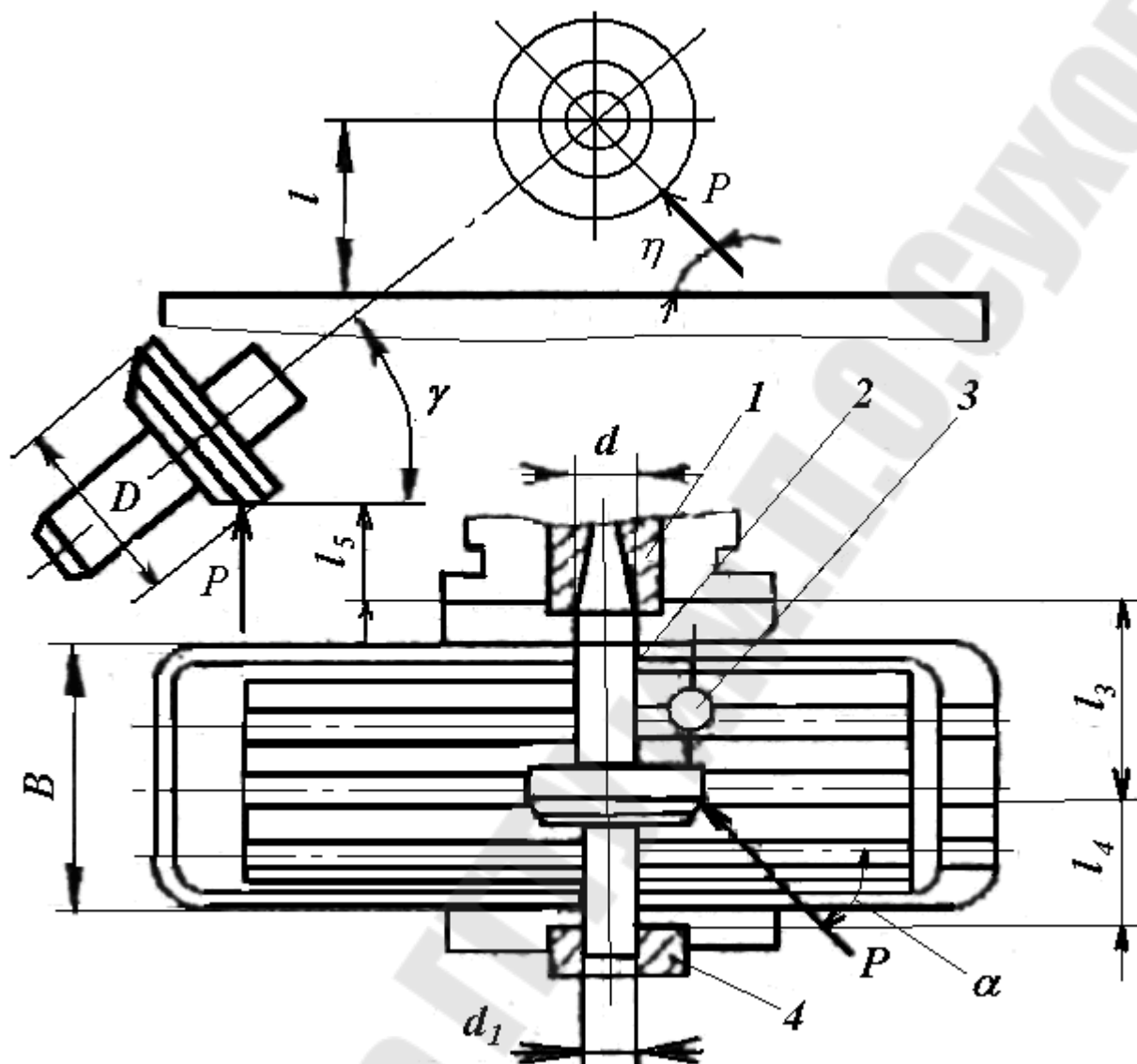


Рисунок 3 Схема измерения суммарной податливости для станка с горизонтальным шпинделем.

Между столом и оправкой создают плавно возрастающую до заданного предела силу P , направление которой определяют углами α , β , η . Нагружающую силу прилагают к конусной части диска оправки и направляют через ось оправки. Одновременно индикатором измеряют перемещение оправки относительно стола в направлении поперечной подачи.

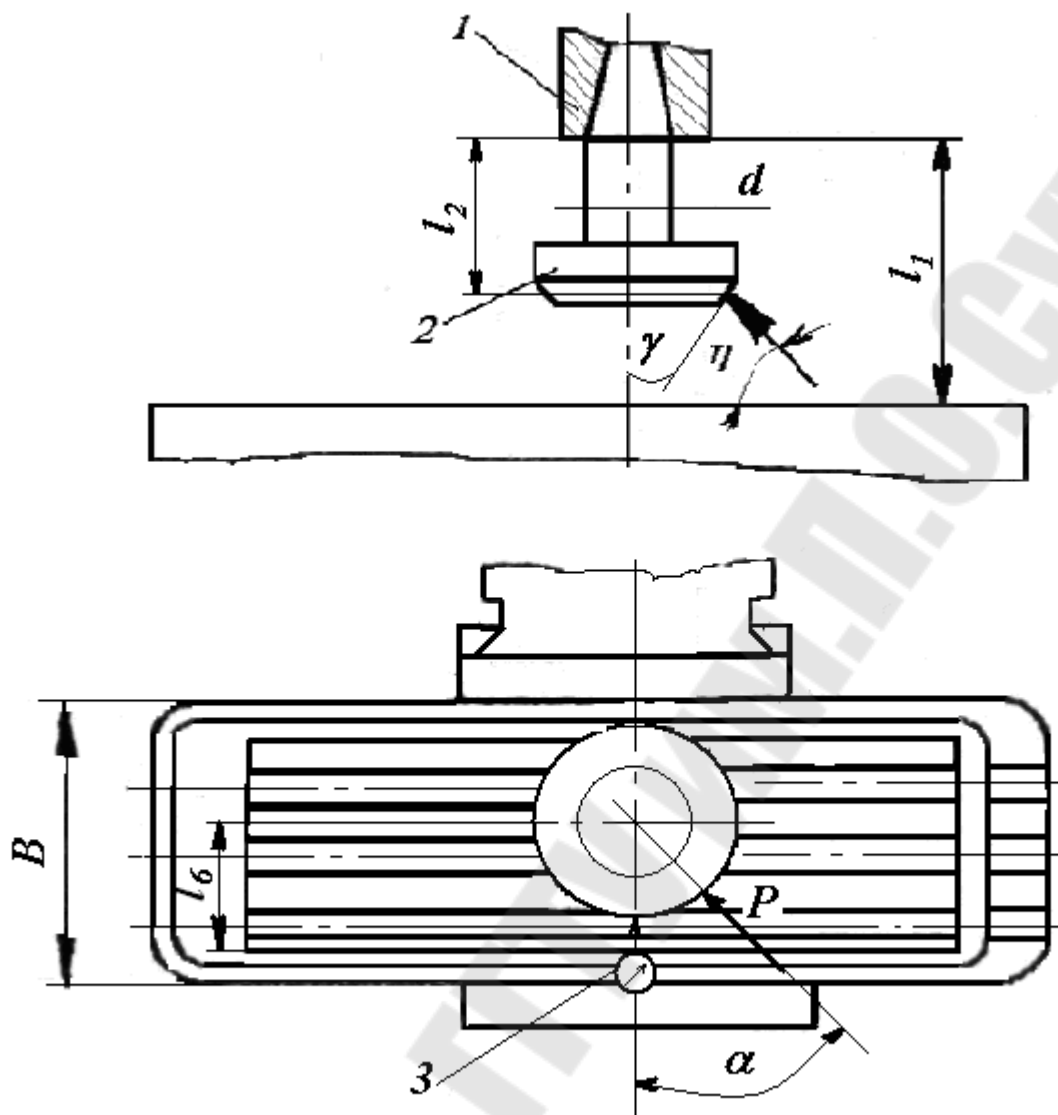


Рисунок 4 Схема измерения суммарной податливости для станка с вертикальным шпинделем

Расположение узлов, деталей станка, точки приложения, а также направление действия силы должны соответствовать указанным на рисунках 2 - 4 и приведенным ниже данным:

- 1) ширина стола - 200 мм;
- 2) расстояние l_2 от оси шпинделя до рабочей поверхности стола 125 мм;
- 3) расстояние l_1 от торца шпинделя до рабочей поверхности стола 160 мм;
- 4) расстояние l_2 от торца шпинделя до точки приложения силы 56 мм;
- 5) расстояние l_3 от вертикальных направляющих станины до точки приложения силы 270 мм;

- 6) расстояние l_4 от точки приложения силы до торца (подшипника серьги) 132 мм;
- 7) расстояние l_5 от вертикальных направляющих станины до первого паза стола 305 мм;
- 8) расстояние l_6 от вертикальной оси шпинделя до первого паза стола 60 мм;
- 9) диаметр D конусной части испытательной оправки в точке приложения силы 80 мм;
- 10) диаметр цилиндрической части испытательной оправки $d/d_1 = 45/40$ мм;
- 11) угол α между проекцией силы P на горизонтальную плоскость и направлением продольной подачи стола 40° ;
- 12) угол β между направлением силы P и ее проекцией на горизонтальную плоскость стола 30° ;
- 13) угол наклона γ конусной части образующей диска оправки к ее оси, для станков с горизонтальным шпинделем - 34° , для станков с вертикальным шпинделем 30° ;
- 14) угол η между проекцией силы P на вертикальную плоскость и направлением продольной подачи 37° .

Наибольшее допустимое перемещение определяют как среднюю арифметическую результатов двух испытаний. Результаты измерений заносят в таблицу.

Таблица Результаты проверки станка на податливость.

Номер проверки	Модель станка	Что проверяется	Схема проверки	Метод проверки	Фактическое отклонение, мм

1.3. Определить жесткость шпинделя, стола, салазок и их суммарную жесткость.

Предварительно нагрузив несколько раз исследуемый узел, приступают к исследованию жесткости. Постепенно увеличивая нагрузку, регистрируют силы и смещения. Доведя нагрузку до максимального значения, разгружают шпиндель и изменяют направление нагружения, также регистрируя при этом значения нагрузки и смещений. На основе полученных данных выполняют

расчет жесткости и по результатам расчета строят график жесткости. Разрыв графика характеризует зазор в стыках.

1.4. Назначить вид ремонта в соответствии с рекомендациями.

На суммарное упругое смещение обрабатываемой детали и режущего инструмента большое влияние оказывают деформации подвижных стыковых поверхностей подшипников и направляющих, а в ряде случаев и самих направляющих.

В настоящее время разработаны методы расчета на жесткость деталей остова станка, корпусных деталей подвижных рабочих органов и подвижных стыковых поверхностей [2,3]. Эти методы отличаются большой трудоемкостью. К расчету на жесткость целесообразно прибегать при проектировании станков, работающих при больших нагрузках, в первую очередь крупных тяжелых станков. Однако в процессе проектирования необходимо принимать меры для повышения жесткости звеньев станка. Поскольку жесткость станка уменьшается с увеличением числа подвижных и неподвижных стыков, то в процессе конструирования следует стремиться к уменьшению числа стыков. В ряде случаев с целью уменьшения числа стыков, станины станков отливают заодно с передними бабками. В частности, встречается ряд моделей токарных, револьверных станков, где используется такое решение. К выбору таких решений необходимо подходить с осторожностью, так как при этом резко усложняется технология обработки, а эффект повышения жесткости может оказаться не столь значительным.

Для повышения жесткости неподвижных соединений следует увеличивать удельные давления в соприкасающихся поверхностях и повышать чистоту их обработки. Повышения удельных давлений можно достигнуть уменьшением площади соприкасающихся поверхностей или увеличением предварительного натяга. Величина предварительного натяга должна быть такой, чтобы после приложения внешней нагрузки напряжения на поверхностях станка были не меньше 15 кг/см^2 .

С целью увеличения жесткости подвижных стыковых соединений необходимо по возможности исключать влияние деформаций промежуточных деталей (клиньев, планок, прижимных болтов и т. п.) и тщательно пришабривать или притирать по «блеску» все поверхности направляющих скольжения, салазок и других

подвижных элементов. В подвижных соединениях во избежание повышения тягового усилия натяг ограничивается значениями 1—2 кП/см².

Для повышения жесткости салазки, перемещающиеся только в процессе настройки, закрепляются на направляющих с помощью специальных зажимных устройств.

Предварительный натяг подшипников создается для повышения жесткости шпиндельных узлов.

В ряде случаев для повышения жесткости станка в конструкции предусматривают дополнительные связи. Например, ряд моделей консольно-фрезерных станков имеет дополнительную стойку, связывающую консоль с основанием.

Жесткость узлов ремонтируемых металлорежущих станков может быть повышена следующим образом:

- 1) шпиндельного узла при наличии подшипников скольжения:
 - а) обеспечением правильной геометрической формы, точных размеров и высокого качества рабочих поверхностей шеек шпинделя и опорных поверхностей подшипников;
 - б) заменой подшипников скольжения шпинделя подшипниками качения с предварительным натягом;
 - в) повышенной точностью и высоким качеством обработки поверхностей центровых гнезд и центров;
- 2) стола и поперечных салазок:
 - а) шабровкой опорных поверхностей;
 - б) плотным прилеганием торцовых поверхностей головок крепежных болтов;
 - в) достаточно сильной затяжкой болтов;
 - г) шабровкой направляющих и клиньев «на блеск»;
 - д) регулировкой передачи винт-гайка;
 - е) установкой усиленной конструкции стола, поперечных салазок.

2. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы
3. Порядок выполнения работы.
4. Схемы измерений податливости.
5. Протокол измерений с указанием результатов измерений, и допустимых значений.

6. Расчет жесткости и графики жесткости узлов, суммарной жесткости.
7. Рекомендации по восстановлению жесткости до заданного значения или способы повышения жесткости.
8. Выводы.

3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Запрещается студентам самостоятельно включать станок в сеть.
2. Запрещается студентам находиться в зоне действия подвижных органов станка.
3. Запрещается студентам открывать крышки и другие элементы блокирующих и предохранительных устройств без разрешения учебного мастера или преподавателя, проводящего лабораторную работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучер И.М. Металлорежущие станки. - Л.: Машиностроение, 1970. – 720 с.
2. Пекелис Г.Д., Гельберг Б.Т., Технология ремонта металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1970. – 320 с.
3. Гельберг Б.Т., Пекелис Г.Д. Ремонт промышленного оборудования. – М.: Высшая школа, 1988.-304с.
4. Руководство по эксплуатации консольно-фрезерных станков 6Р10, 6Р80Г и др.

ИСПЫТАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ НА ЖЕСТКОСТЬ

**Лабораторный практикум
по курсу «Монтаж, ремонт и испытания
станочного оборудования»
для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование
машиностроительного производства»**

Составитель: **Стасенко** Дмитрий Леонидович

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 22.09.09.

Рег. № 66Е.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>