

УДК 621.9

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТОЯНСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Денис Олегович Савватеев⁽¹⁾, Мария Геннадьевна Серова⁽²⁾

Студент 6 курса⁽¹⁾, студент 3 курса, бакалавриат⁽²⁾

кафедра «Металлорежущие станки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Б.М. Дмитриев

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Металлорежущие станки»

Цель: разработать конструкцию передней опоры шпинделя, обеспечивающую стабильную жесткость при действии термических возмущений.

На сегодняшний день, в отечественном станкостроении уделяется недостаточно внимания термическим процессам, протекающим в конструкциях. Основанием для данного исследования послужило ужесточение требований по производству деталей на прецизионном металлорежущем оборудовании, с которыми имеющиеся станки перестали справляться. Потребовалось исследовать процессы, протекающие во время работы станка, которые оказывают влияние на точность. Одним из таких процессов оказалось изменение геометрической точности и жесткости шпиндельного узла под действием тепла.

Для подтверждения данного явления был проведен эксперимент, показывающий воздействие тепла на жесткость шпинделя.

На рисунке 1 представлена общая схема экспериментальной установки. Данная установка имеет точную оправку (1), имитирующую ось шпинделя, датчик, жестко установленный на станине, измеряющий осевое перемещение (2) и четыре датчика, измеряющие радиальное перемещение (3) оправки (1). Измерения проводились после нагружения шпинделя радиальной силой F , вначале на «холодной» станке и далее через определенные временные интервалы работы. По полученным данным был построен график 1.

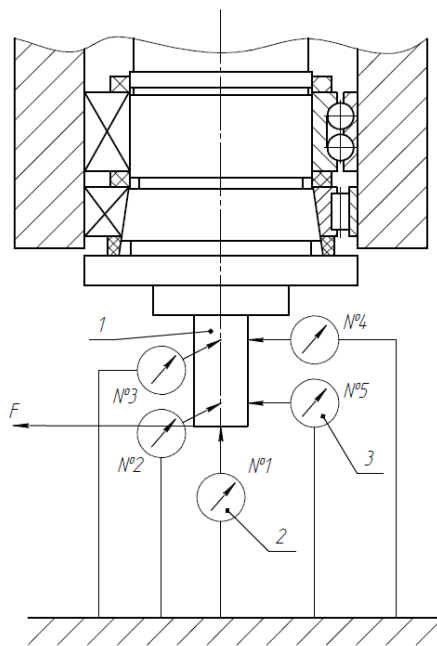


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

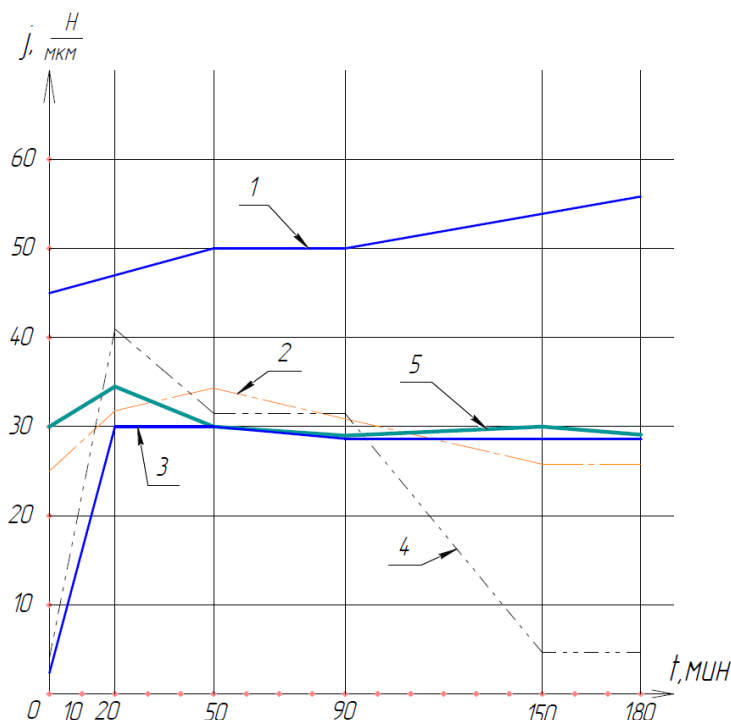


График 1. Изменение жесткости шпинделя во время работы. Частота вращения шпинделя 2040 об/мин.

На графике 1 видно, что с течением времени жесткость станка постепенно изменяется. Это происходит из-за образования тепла в зоне резания, а так же из-за трения деталей, которое соответственно нагревает части шпинделя. Быстрее всего нагревается шпиндельный вал, а также внутреннее кольцо подшипника в силу своих небольших габаритных размеров, по сравнению с корпусом шпинделя. В результате этого нагрева внутреннее кольцо начинает деформировать тела качения, и зазор в передней опоре радиального подшипника уменьшается. Из-за данного явления происходит изменения жесткости конструкции станка под действием температуры. Изменение жесткости шпинделя в процессе обработки приводит к изменению точности оборудования, следовательно, приходится уменьшать режимы резания, а из-за этого падает производительность. Поэтому стоит задача добиться постоянства жесткости шпиндельного узла.

Чтобы решить данную задачу рассмотрим один из возможных вариантов. В передней опоре шпинделя установим подшипник с конической поверхностью внутреннего кольца (4). Это делается для того, чтобы можно было регулировать натяг, и тем самым контролировать жесткость опоры. Регулировку можно осуществить с помощью втулок (6) и (7) (рисунок 2), для этого необходимо изменять их линейные размеры. Осуществить это возможно за счет физических свойств растяжения и сжатия материала при изменении температуры. Для этого необходим специальный материал, способный при быстром нагреве внутреннего кольца расширять втулку (6) и соответственно сужать втулку (7), тогда подшипник сместится по конусной поверхности, натяг уменьшится, а жесткость будет стабилизироваться. С течением времени, когда конструкция начинает охлаждаться, возникает необходимость сместить подшипник в обратную сторону.

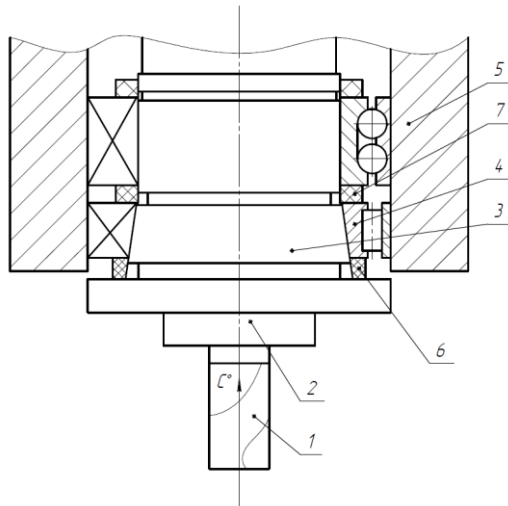


Рисунок 2. Схема передней опоры
шпиндельного узла.

Втулку (2) на рисунке 3 требуется изготовить из материала, который будет изменять свои линейные размеры по необходимому закону, а вместо второй втулки будем использовать пружину (3), которая будет компенсировать смещение втулки (2).

Необходимо разобраться в каких пределах происходит изменение температуры частей шпиндельного узла. Допустим, что температура в цеху не может опускаться ниже $+20^{\circ}\text{C}$ в течение всего года, а температуры вспышки масла, которое используется в шпиндельном узле, $+95^{\circ}\text{C}$.

Исходные данные:

Материал подшипника ШХ15

$$\alpha_1 = 11,9 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right);$$

$$\Delta T = 75(^{\circ}\text{C});$$

Для решения данной задачи воспользуемся законом линейного расширения материала при нагреве.

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta T;$$

Определим изменение расстояние Δl_1 при нагреве элементов системы на 75°C .

$$\Delta l_1 = \alpha_1 \times l_1 \times \Delta T;$$

Затем, чтобы компенсировать радиальное перемещение системы необходимо сдвинуть ее в осевом направлении по конусной поверхности с углом наклона β на расстояние Δl_2 (рисунок 4). Зависимость Δl_2 от β показана на графике 2.

$$\Delta l_2(\beta) = \frac{\Delta l_1}{\text{tg}\beta}$$

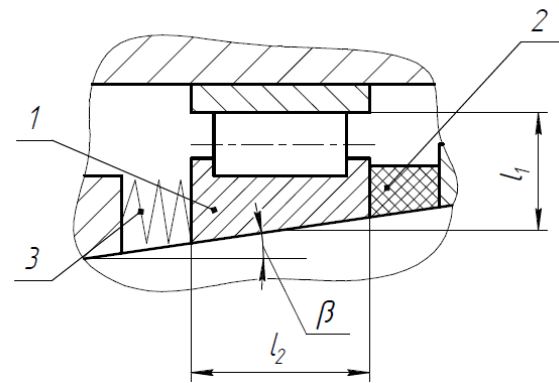


Рисунок 3. Схема механизма осуществления
автоматической регулировки натяга.

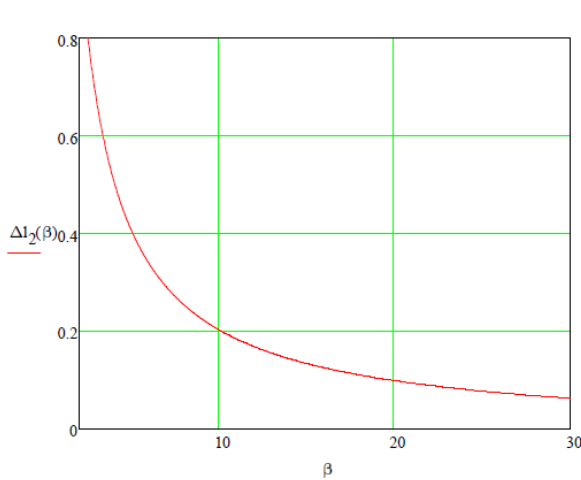


График 2.

Теперь необходимо решить обратную задачу закона линейного расширения, мы знаем перемещение, требуется найти коэффициент линейного теплового расширения α_2 (данная зависимость показана на графике 3).

$$\alpha_2(\beta) = \frac{\Delta l_2(\beta)}{l_2 \times \Delta T};$$

Изменяя угол наклона конусной поверхности, можем подобрать такое Δl_2 , а следовательно и коэффициент линейного теплового расширения α_2 , который бы соответствовал свойствам известных материалов.

После того, как будет подобран материал втулки, компенсирующей натяг в подшипнике, необходимо подобрать пружину, поджимающую всю систему с левой стороны. Данный метод позволяет поддерживать натяг в передней опоре шпинделя на постоянном уровне и увеличивает точность металлорежущего оборудования.

Выводы:

В данной статье был предложен метод по автоматической стабилизации натяга в передней опоре подшипникового узла. Был проведен расчет, подтверждающий жизнеспособность выбранного метода.

Но данный метод содержит существенный недостаток, поскольку внутреннее кольцо подшипника будет тереться о конусную поверхность шпиндельного вала, между этими поверхностями возникнет такой эффект, как фреттинг-коррозия.

Литература

1. Йоханнес Хеддерих. Термическая стабильность в станках // Магистерская диссертация. – Швеция, 2015. 13 с.
2. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 214 с.

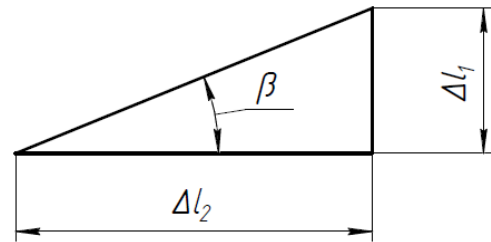


Рисунок 4.