смолы. Таким образом, композиционный материал оказывается экологически чистым, а его производство снижает производственные затраты на используемые материалы.

1. ГОСТ 2140-81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. Введ. 30.06.81 – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 121 с.
2. ГОСТ 16483.1-84. Древесина. Метод определения плотности. Введ. 13.04.84 – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине: Справочник / Под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
4. О.И. Полубояринов. Плотность древесины: Учебник / Полубояринов О.И. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 160 с.

Горошкина О.В., Егорушина Е.М., Корягина О.М., Лазарев А.Е., Чемшит О.В.
Оценка влияния силовых деформаций станин координатно-расточных станков на их точность

*Поволжский государственный университет сервиса
 (Россия, Тольятти)*

doi:10.18411/sciencepublic-12-11-2019-03

idsp: sciencepublic-12-11-2019-03

Разработана экспериментальная установка оценки и компенсации влияния силовых деформаций станины на относительные перемещения подсистемы “инструмент-заготовка”, выполненная на базе горизонтального координатно-расточного станка (КРС) модели 2А459АФ4 (рисунок 1).

Рисунок 1- Экспериментальная установка

Она состоит из станины 1 установленной на три жесткие опоры 2, 3 и 4., стойки 5, перемещающейся в направлении оси OZ, со шпиндельной бабкой 6, которая производит механическую обработку заготовки 7, закрепленной на столе станка 8. Шпиндельная бабка, содержащая шпиндельный узел, с закрепленным режущим инструментом 9, перемещается в направлении оси OY при помощи электродвигателя 10 (М). Корпусная заготовка устанавливается на две установочные опоры 11, 12 и

гидродомкрат 13. Устройство содержит так же гидравлическую станцию 14, электрогидравлический преобразователь 15, усилитель электрического сигнала 16, датчик перемещения по оси OZ 17, уровни электронные 18, 19 ($УЭ_1$, $УЭ_2$), и систему ЧПУ открытого типа 20 (PCNC).

В качестве системы ЧПУ применялась система открытого типа (PCNC), , которая состояла из процессора ЧПУ (CNC), программно реализованного программируемого логического контроллера (Soft PLC), и интерполятора (Axis unit).

Найдем аналитические зависимости, связывающие силовые деформации станины с взаимным перемещением инструмент – обрабатываемая заготовка.

Точкой С на рисунке 1 обозначена точка пересечения оси растачиваемого отверстия с передней гранью заготовки, а точкой D – точка пересечения оси инструмента с его торцевой плоскостью. На рисунке 2 показана геометрическая схема угловых перемещений. Плоскостью YOZ обозначена плоскость системы координат неподвижной заготовки, условно принимаемая как находящаяся в плоскости симметрии станка. Точкой А обозначена точка, находящаяся на одном уровне с точками приложения реакций опор 2 и 3, равноудаленная от них и расположенная в плоскости YOZ. R_A – соответственно равнодействующая реакция опор 2 и 3. Точкой F обозначена точка пересечения сосредоточенной силы $F_{ст}$ от объемной нагрузки прикладываемой подвижной стойкой с поверхностью направляющих станины и расположенная в плоскости YOZ. Точка G является равноудаленной от точек приложения реакций установочных опор 11 и 12, в которой образуется равнодействующая реакция R_G этих опор, расположенная в плоскости YOZ. Точкой S обозначена точка, в которой образуется реакция R_S гидродомкрата как третьей установочной опоры.

Рисунок 2

Точкой Q является точка пересечения передней грани заготовки с гранью основания, расположенная в плоскости YOZ. Точкой В обозначена точка пересечения оси обрабатываемого отверстия с продолжением равнодействующей реакции R_A , а точкой E соответственно – точка пересечения оси инструмента с прямой линией, совпадающей со сосредоточенной силой $F_{ст}$. Отрезок BC, характеризующий ось растачиваемого отверстия смещается от оси OY на угол α_2 относительно точки A, а отрезок DE, характеризующий ось инструмента смещается от оси OY на угол α_1 относительно точки F'. Точки, обозначенные штрихами, соответствуют относительным положениям этих точек после взаимных угловых перемещений. Отрезок F'F определяет

заданное перемещение стойки в направлении оси OZ, с наклоном относительно этой оси на угол α_1 .

На рисунке 3 показаны проекции угловых перемещений по оси OY. В случае когда станина прогибается заготовка воспринимает угловое перемещение на угол α_2 вокруг точки A и точка C переместится в точку C'. Проекция углового перемещения точки C оси отверстия после прогиба станины, показанная рисунке 3, а и обозначенная как $y_{o.пр}$, определяется из решения прямоугольных треугольников по следующим выражениям:

$$y_{o.пр} = BK + MC'$$

$$BK = BA - KA,$$

где BA – известно (вводится как исходные данные).

$$KA = B'A \cdot \cos \alpha_2$$

$$MC' = B'C' \cdot \sin \alpha_2$$

При этом $BA = B'A$; $BC = B'C'$

Вводятся дополнительные точки: K, M.

Рисунок 3

На рисунке 3, б показано угловое перемещение оси инструмента, где все три точки D, E и F, переместятся в точки D', E' и F', вследствие того, что стойка помимо вращательного движения на угол α_1 вокруг точки F имеет поступательное прямолинейное движение в точку F' с отклонением от оси OZ на угол α_1 . Проекцию углового перемещения Δy_u точки D оси инструмента можно определить как:

$$\Delta y_u = JD' + EH$$

$$JD' = D'E' \cdot \sin \alpha_1$$

$$EH = EF - HF,$$

где EF – известно (определяется системой ЧПУ).

$$\begin{aligned} HF &= OF' - PF' \\ OF' &= E'F' \cdot \cos \alpha_1 \\ PF' &= F'F \cdot \sin \alpha_1 \end{aligned}$$

При этом $EF = E'F'$; $DE = D'E'$

Вводятся дополнительные точки: J, O, P, H.

На рисунке 3, в показано, что когда в гидродомкрат подается управляющее давление, он поднимает передний край заготовки на определенную величину и заготовка поворачивается вокруг точки G' на угол $\alpha_1 + \alpha_2$, таким образом, происходит стабилизация параллельности оси растачиваемого отверстия и оси инструмента. На рисунке 3, г показано перемещение точки C' оси отверстия в точку C'' после стабилизации параллельности осей. Величиной $y_{o.ст}$ обозначена проекция углового перемещения точки C' после стабилизации параллельности осей, которая определяется по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} y_{o.ст} &= C''V + G'T - C'W \\ C''V &= G'C'' \cdot \sin \gamma \\ G'C'' &= \sqrt{(G'Q'')^2 + (Q''C'')^2} \\ \gamma &= \alpha_1 + \arctg \frac{C''Q''}{G'Q''} \\ G'T &= G'Q' \cdot \sin \alpha_2 \\ C'W &= Q'C' \cdot \cos \alpha_2 \end{aligned}$$

При этом $G'Q' = G'Q''$; $Q'C' = Q''C''$

Вводятся дополнительные точки: T, V, W.

На рисунке 4 показаны проекции угловых перемещений по оси OZ:

Рисунок 4

$$z_{o.пр} = K_1 M$$

$$K_1 M = B' M - B' K_1$$

$$B' M = B' C' \cdot \cos \alpha_2$$

$$B' K_1 = K K_1 - K B'$$

$$K K_1 = B C$$

$$K B' = A B' \cdot \sin \alpha_2$$

Вводится дополнительная точка K_1 .

На рисунке 4, б показана проекция углового перемещения $\Delta z_{и}$ точки D оси инструмента после прогиба станины, которую можно определить как:

$$\Delta z_{и} = JH - DE,$$

где DE – известно (определяется системой ЧПУ).

$$JH = JE' + E'O + OH$$

$$JE' = D'E' \cdot \cos \alpha_1$$

$$E'O = E'F' \cdot \sin \alpha_1$$

$$OH = PF = F'F \cdot \cos \alpha_1$$

На рисунке 4, в показана проекция углового перемещения $z_{o.ст}$ точки C' оси отверстия после стабилизации параллельности обеих осей, определяемая по следующим выражениям:

$$z_{o.ст} = VV_3$$

$$VV_3 = G'V_3 - G'V$$

$$G'V_3 = G'V_1 + V_1V_2 + V_2V_3$$

$$G'V_1 = G'Q' \cdot \cos \alpha_2$$

$$V_1V_2 = Q'V_2 \cdot \sin \alpha_2$$

$$Q'V_2 = G'Q' \cdot \tan \alpha_2$$

$$V_2V_3 = V_2C' \cdot \sin \alpha_2$$

$$V_2C' = Q'C' - Q'V_2$$

$$G'V = G'C'' \cdot \cos \gamma$$

$$G'C'' = \sqrt{(G'Q'')^2 + (Q''C'')^2}$$

$$\gamma = \alpha_1 + \arctg \frac{C''Q''}{G'Q''}$$

Вводятся дополнительные точки: V_1, V_2, V_3 .

На рисунке 5 показаны составляющие вертикальной коррекции $y'_{кор}$ по смещенной оси OY на угол α_1 , которую можно определить по следующим выражениям:

$$y'_{\text{кор}} = C''C_2 + C_2C_3 + D_2D'; \quad C''C_2 = \frac{\Delta y_o}{\cos \alpha_1};$$

$$\Delta y_o = y_{o.\text{ст}} - y_{o.\text{пр}}; \quad \Delta y_o = C''C_1;$$

$$C_2C_3 = D_3D_2; \quad C_2C_3 = C_2D_2 \cdot \sin \alpha_1;$$

$$C_2D_2 = CD - \Delta z_o - C_1C_2 - D_2D_1 - \Delta z_{\text{и}},$$

где CD – известно (определяет система ЧПУ);

$$\Delta z_o = z_{o.\text{пр}} - z_{o.\text{ст}}; \quad \Delta z_o = CC_1; \quad C_1C_2 = \Delta y_o \cdot \tan \alpha_1; \quad D_2D_1 = \Delta y_{\text{и}} \cdot \tan \alpha_1;$$

$$\Delta y_{\text{и}} = D'D_1; \quad \Delta z_{\text{и}} = DD_1; \quad D_2D' = \frac{\Delta y_{\text{и}}}{\cos \alpha_1}$$

Вводятся дополнительные точки: $C_1, C_2, C_3, D_1, D_2, D_3$.

Рисунок 5

Результаты аналитических расчетов показали удовлетворительное совпадение с результатами экспериментальных исследований, выполненных на экспериментальной установке. При этом расхождение результатов не превышало 10 %.

1. Пат. 74839 РФ, МПК В23В 25/06. Устройство стабилизации силовых изгибных деформаций станины горизонтального координатно-расточного станка / Горшков Б.М., Краснов С.В., Самохина Н.С., Лысак Р.М., Вьюнов А.В., Загребин К.В. БИ № 20, 2007.
2. Горшков, Б.М. Опыт-экспериментальная установка для оценки эффективности повышения точности координатно-расточных станков / Б. М. Горшков [и др.] // Вектор науки. – 2011. – № 2 (16). – С.119-122.
3. Рубцов, М.А. Пути повышения точности технологических систем / М.А. Рубцов, Б.М. Горшков // Сборник статей VII международной научно-практической конференции «Наука – промышленности и сервису» – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2012. – С. 531-533.