

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ОБЩЕЙ СБОРКИ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Тимофеев Ю.В., Захаров Н.В., Мельниченко А.А.

Неточности изготовления деталей и их сборки приводят к возникновению ряда погрешностей при эксплуатации агрегатированного металлорежущего оборудования. Это оказывает значительное влияние на точность обработки заготовок. Рассмотрим влияние данных погрешностей на примере получения отверстий.

Для определения изменения значения эксцентриситета \bar{e} рассмотрим координатную систему агрегатного состояния станка (рис.1). Все возникающие погрешности рассматриваем относительно абсолютной системы координат, связанной со станиной станка. Начала относительных систем координат будут изменяться в зависимости от погрешностей сборочных единиц станка. Начала отсчета относительно систем координат положения инструмента и детали обозначим соответственно X_n, O_n, Y_n и X_d, O_d, Y_d . При отсутствии погрешностей, O_{abc} связан с O_n и O_d радиус-вектором, соответственно \bar{r}_{nabc} и \bar{r}_{dabc} . Однако на практике, по причине наличия погрешностей, теоретическая ось обрабатываемого отверстия изменяется от M_n до M_d , что приводит к изменению $\bar{r}_{abc}(M_n)$, $\bar{r}_{abc}(M_d)$ и $\bar{r}_{abc}(M)$. Расстояние между M_n и M_d равно вектору \bar{e} , являющемуся эксцентриситетом оси инструмента относительно оси отверстия детали. Взаимное положение систем X_n, O_n, Y_n и X_d, O_d, Y_d связано $\bar{r}_{отн}$:

$$\bar{r}_{отн} = \bar{r}_{dabc} - \bar{r}_{nabc} \quad (1)$$

Под действием погрешностей агрегатного станка при обработке изменяется положение точки M (рис.1). Величина этого изменения (\bar{e}) определяется из зависимости:

$$\bar{e} = \bar{r}_{abc}(M_d) - \bar{r}_{abc}(M_n) \quad (2)$$

Положение точки M можно определить с помощью радиус-вектора $\bar{r}_{abc}(M)$

$$\bar{r}_{abc}(M) = \bar{r}_{nabc} + \bar{r}_n + \bar{D}_n, \quad (3)$$

$$\text{или} \quad \bar{r}_{abc}(M) = \bar{r}_{dabc} + \bar{r}_d, \quad (4)$$

$$\text{тогда:} \quad \bar{r}_n + \bar{D}_n = \bar{r}_{отн} + \bar{r}_d. \quad (5)$$

С учетом погрешностей в системе "инструмент":

$$\bar{r}_{abc}(M) = \bar{r}_{nabc} + \Delta\bar{r}_{nabc} + \bar{r}_n + \Delta\bar{r}_n + \bar{D}_n + \Delta\bar{D}_n + \Delta\bar{\varphi}_n \cdot (\bar{r}_n + \Delta\bar{r}_n + \bar{D}_n + \Delta\bar{D}_n), \quad (6)$$

где:

$\Delta\bar{r}_{nabc}$ - погрешность положения начала отсчета системы O_n "инструмент", то есть наличия подвижности в системе установки инструмента (погрешность положения силовой головки с инструментом относительно станины);

$\Delta \bar{r}_n$ - погрешность положения инструмента, то есть погрешность, вызванная радиальным биением инструмента (половина радиального биения инструмента);

$\Delta \bar{D}_n$ - погрешность, вызванная неточностью изготовления инструмента (сверла по диаметру);

$\Delta \bar{\varphi}_n$ - угол поворота системы ("инструмент" относительно "абсолютной" системы).

С учетом погрешностей системы "деталь":

$$\begin{aligned} \bar{r}_{abc}(M_n) = \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_{abc} + \bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n + \Delta \bar{\varphi}_n \cdot (\bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n - \bar{r}_{отн}) + (\Delta \bar{\varphi}_n - \Delta \bar{\varphi}_n) \cdot \\ \cdot (\bar{r}_n + \bar{D}_n) = \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_n + \bar{r}_n + \Delta \bar{\varphi}_n \cdot (\bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n) - \Delta \bar{\varphi}_n \bar{r}_{отн} + \\ + (\Delta \bar{\varphi}_n - \Delta \bar{\varphi}_n)(\bar{r}_n + \bar{D}_n), \end{aligned} \quad (7)$$

где: $\Delta \bar{r}_{abc}$ - погрешность положения начала отсчета O_n системы "деталь", то есть наличие подвижности в системе установки детали (изменение положения детали вместе с приспособлением и поворотном-делительным столом относительно станины);

$\Delta \bar{r}_n$ - погрешность установки детали в приспособлении;

$\Delta \bar{\varphi}_n$ - угол поворота системы "деталь" относительно системы.

Используя формулы 1,5,6,7, определим \bar{e} из зависимости 2:

$$\begin{aligned} \bar{e} = \bar{r}_{abc}(M_n) - \bar{r}_{abc}(M_n) = \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_{abc} + \bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n + \Delta \bar{\varphi}_n (\bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n) - \Delta \bar{\varphi}_n \bar{r}_{отн} + \\ + (\Delta \bar{\varphi}_n - \Delta \bar{\varphi}_n)(\bar{r}_n + \bar{D}_n) - \bar{r}_{abc} - \Delta \bar{r}_{abc} - \bar{r}_n - \Delta \bar{r}_n - \bar{D}_n - \Delta \bar{\varphi}_n (\bar{r}_n + \Delta \bar{r}_n + \bar{D}_n + \Delta \bar{D}_n), \end{aligned}$$

Пренебрегая малыми высокого порядка, получим:

$$\begin{aligned} \bar{e} = \Delta \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_n - \Delta \bar{r}_{abc} - \Delta \bar{r}_n - \Delta \bar{D}_n + \Delta \bar{\varphi}_n \Delta \bar{r}_n - \Delta \bar{\varphi}_n \bar{r}_{отн} + (\Delta \bar{\varphi}_n - \Delta \bar{\varphi}_n) \cdot \\ \cdot (\bar{r}_n + \bar{D}_n) - \Delta \bar{\varphi}_n \cdot (\Delta \bar{r}_n + \Delta \bar{D}_n), \end{aligned} \quad (8)$$

или

$$\bar{e} = \Delta \bar{r}_{abc} + \Delta \bar{r}_n - \Delta \bar{r}_{abc} - \Delta \bar{r}_n - \Delta \bar{D}_n - \Delta \bar{\varphi}_n \bar{r}_{отн} + (\Delta \bar{\varphi}_n - \Delta \bar{\varphi}_n)(\bar{r}_n + \bar{D}_n), \quad (9)$$

При определении \bar{e} в абсолютной системе отсчета получим:

$$\bar{e} = ie_x + je_y + ke_z,$$

где e_x, e_y, e_z - проекции вектора \bar{e} на оси координат.

С учетом (9):

$$\begin{aligned} e_x = \Delta r_{abcx} + \Delta r_{nx} - \Delta r_{abcsx} - \Delta r_{nxs} - \Delta D_{nx} - (\Delta \varphi_{ly} r_{отнx} + \Delta \varphi_{lx} r_{отнy}) + \\ + [(\Delta \varphi_{ly} - \Delta \varphi_{ny})(r_{nx} + D_{nx}) - (\Delta \varphi_{lx} - \Delta \varphi_{nx})(r_{nx} + D_{ny})]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_y = \Delta r_{abcsy} + \Delta r_{ny} - \Delta r_{nabsy} - \Delta r_{nys} - \Delta D_{ny} - (\Delta \varphi_{lx} r_{отнx} + \Delta \varphi_{ly} r_{отнy}) + \\ + [(\Delta \varphi_{lx} - \Delta \varphi_{nx})(r_{nx} + D_{nx}) - (\Delta \varphi_{ly} - \Delta \varphi_{ny})(r_{nx} + D_{ny})]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_z = \Delta r_{abcsz} + \Delta r_{nz} - \Delta r_{nabsz} - \Delta r_{nzs} - \Delta D_{nz} - (\Delta \varphi_{lx} r_{отнx} + \Delta \varphi_{ly} r_{отнy}) + \\ + [(\Delta \varphi_{lx} - \Delta \varphi_{nx})(r_{nx} + D_{ny}) - (\Delta \varphi_{ly} - \Delta \varphi_{ny})(r_{nx} + D_{nx})]; \end{aligned}$$

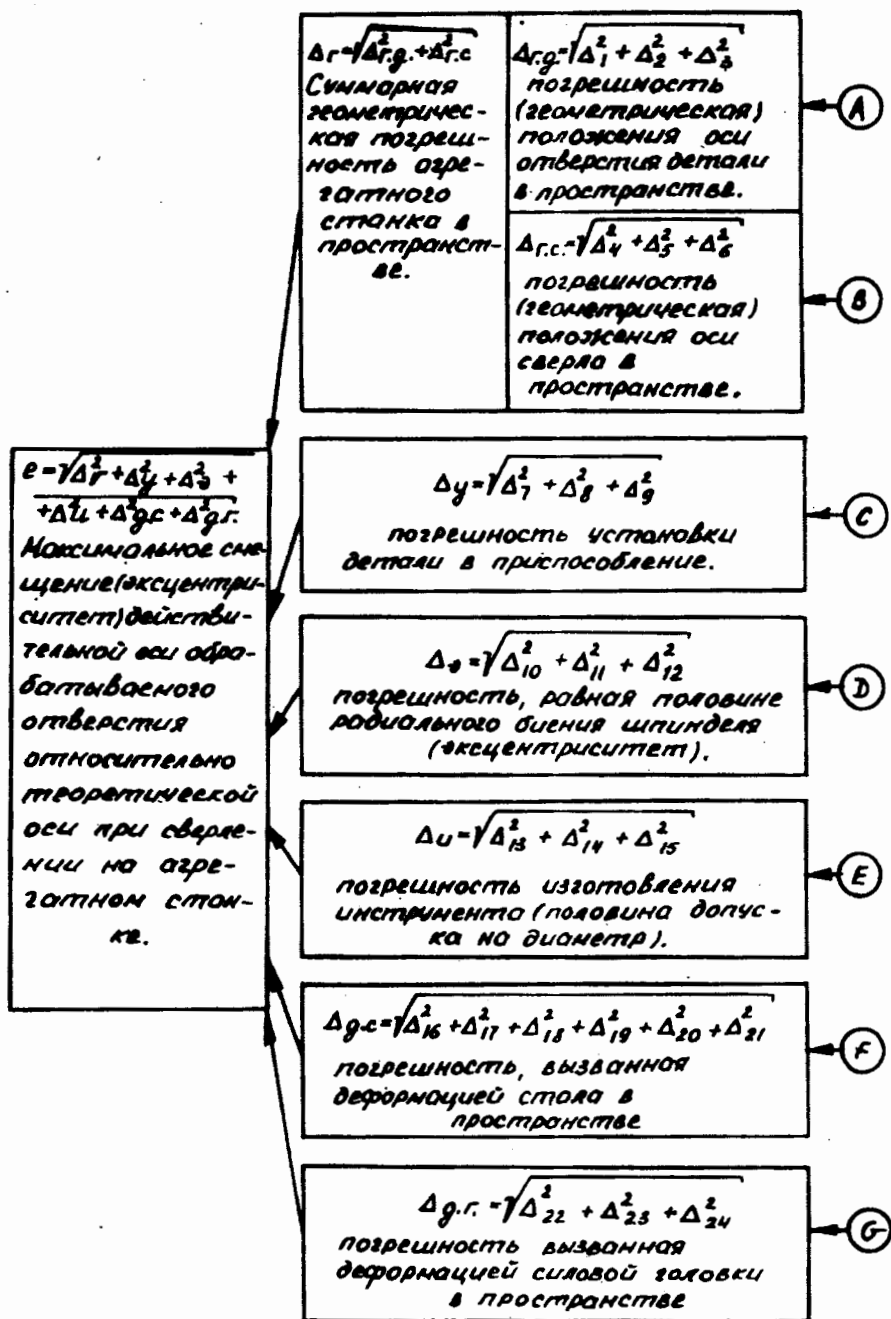


Рис. 2 Составляющие погрешности обработки (сверления) заготовок на агрегатных металлорежущих станках.

- $\Delta_1 = \Delta Z_{g.abc.X}$, $\Delta_2 = \Delta Z_{g.abc.Y}$, $\Delta_3 = \Delta Z_{g.abc.Z}$;
 погрешности смещения оси отверстия детали в: горизонтальной, фронтальной и вертикальной плоскости от геометрических отклонений системы ДСП
- $\Delta_4 = \Delta Z_{u.abc.X}$, $\Delta_5 = \Delta Z_{u.abc.Y}$, $\Delta_6 = \Delta Z_{u.abc.Z}$;
 погрешности смещения оси сверла в: горизонтальной, фронтальной и вертикальной плоскости от геометрических отклонений системы СГ-У
- $\Delta_7 = \Delta Z_{g.X}$, $\Delta_8 = \Delta Z_{g.Y}$, $\Delta_9 = \Delta Z_{g.Z}$;
 погрешности смещения детали в: горизонтальной, фронтальной и вертикальной плоскости
- $\Delta_{10} = \Delta Z_{u.X}$, $\Delta_{11} = \Delta Z_{u.Y}$, $\Delta_{12} = \Delta Z_{u.Z}$;
 погрешности смещения инструмента в: горизонтальной, фронтальной и вертикальной плоскости
- $\Delta_{13} = \Delta D_{u.X}$, $\Delta_{14} = \Delta D_{u.Y}$, $\Delta_{15} = \Delta D_{u.Z}$;
 погрешности, вызванные неточностью изготовления инструмента (сверла по диаметру) в: горизонтальной, фронтальной и вертикальной плоскости
- $\Delta_{16} = \Delta f_{g.Y} \cdot 2 \text{отн.} Z$ - погрешность поворота детали относительно инструмента во фронтальной плоскости (деформация стола в этой плоскости).
 $\Delta_{17} = \Delta f_{g.Z} \cdot 2 \text{отн.} Y$ - то же в горизонтальной плоскости.
 $\Delta_{18} = \Delta f_{g.Z} \cdot 2 \text{отн.} X$ - то же в горизонтальной плоскости.
 $\Delta_{19} = \Delta f_{g.X} \cdot 2 \text{отн.} Z$ - то же в вертикальной плоскости.
 $\Delta_{20} = \Delta f_{g.X} \cdot 2 \text{отн.} Y$ - то же в вертикальной плоскости.
 $\Delta_{21} = \Delta f_{g.Y} \cdot 2 \text{отн.} X$ - то же во фронтальной плоскости.
- $\Delta_{22} = (\Delta f_{g.Y} - \Delta f_{u.Y}) \cdot (2u_Z + Du_Z)$; $\Delta_{23} = (\Delta f_{g.Z} - \Delta f_{u.Z}) \cdot x(2u_X + Du_X)$, $\Delta_{24} = (\Delta f_{g.X} - \Delta u_X) \cdot (2u_Y + Du_Y)$;
 погрешности поворота инструмента в: фронтальной, горизонтальной, и вертикальной плоскости (деформация силовой головки в этой плоскости).

Рис. 2 Продолжение.

Суммарная погрешность:

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2 + e_z^2} \quad (10)$$

или

$$e = \sqrt{\Delta_r^2 + \Delta_y^2 + \Delta_e^2 + \Delta_u^2 + \Delta_{DC}^2 + \Delta_D^2}, \quad (11)$$

где $\Delta_r, \Delta_y, \Delta_e, \Delta_u, \Delta_{DC}, \Delta_D$ определяются по рис.2.

Полученная математическая модель с гарантированным уровнем точности позволяет оценивать возможности получения заданных допусков на детали и учитывать данные зависимости при проектировании технологии обработки с использованием агрегатированной технологической системы.

Использование полученных математических зависимостей в промышленности при изготовлении агрегатных станков показало наличие возможностей управления точностью их сборки с учетом динамических погрешностей, возникающих при обработке деталей.

SUMMARY

The profound analysis of plane dimension chains of technological system has been done on the basis of analysis of static and dynamic errors arising during the turning of holes while using aggregate machines.

The mathematical model for accuracy control of receiving the dimensions of part at prescribed errors of assembly of machine elements has been developed and the opportunity for accuracy control of the assembly of machines with the purpose of receiving the prescribed characteristics of turning blanks (inverse problem) is shown.

УДК 621.923

К ВОПРОСУ О КИНЕМАТИКЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ

Хворост В.А., Залого В.А., Кулиш А.Н., Колокин А.А.

Способ тангенциального попутного течения деталей коротких тел вращения, реализованный в 12-ти шпиндельном станке-автомате мод. КА-350 [1], открывает принципиально новые перспективы механической обработки с точки зрения повышения производительности труда и качества обработанных поверхностей. Это объясняется специфическими особенностями процесса резания при этом способе обработки [2,3] и возможностью использования роторного принципа, т.е. совмещения движения подачи с транспортированием заготовки от зоны ее "загрузки" до зоны "выгрузки" готовой детали. В результате просто реализуется многоинструментальная обработка, скорости резания и подачи могут быть увеличены не менее, чем в 3-4 раза при обеспечении достаточно высокой стойкости инструмента и качества обработанных поверхностей (IT7-IT8), а производительность станков роторного типа с тангенциальной схемой резания возрастает более, чем в 5 раз по сравнению с токарными станками, реализующими традиционные схемы резания.

Вместе с тем следует отметить, что станок КА-350, изготовленный Киевским заводом станков-автоматов в 1969 году, до настоящего времени еще не нашел применения в народном хозяйстве из-за ряда недостатков, проявившихся в период сдачи станка государственной комиссии, основным из которых является недостаточная надежность