

UDC 621.9.06.014

Lutsiv I., DThSc., Professor.
Voloshyn V., Ph.D. in Engineering
Buhovets V.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University /
Ukraine

DEFINITION OF COMPONENT ELEMENTS POSITION ERRORS OF INTEGRATED SELF-ADJUSTING EQUIPMENT FOR TURNING

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ПОЛОЖЕННЯ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСНОГО САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ

Abstract: The paper deals with the analytic models to calculate the matrixes elements of total errors taking place as a result of both work piece deformation displacements in the clamping device and deformation displacements of cutting tool blocks of the self adjusting tool equipment for turning.

The evaluation impact of these errors on the output accuracy of the machined cylindrical surfaces of the console fixed parts is developed. The variation simulation method of machines precision calculation is used.

Keywords: accuracy; self-adjusting equipment; clamping device; analytic model; deformation displacements

INTRODUCTION

The turning work is of considerable proportion in the machine parts production manufacturing content. The process of turning edge cutting comes with the elastic deformations and vibrations infecting the negative influence on the surface roughness, dimensional accuracy, tool life and machine tool service durability. In comparison with single edge tool machining the multi edge cutting is among the most effective and high production techniques to decrease the macro- and micro machining errors and over tolerance vibrations in the process of cutting [1]. One of the methods to minimize the basic errors taking place at different stages of manufacturing process is to use the integrated self adjusting equipment. Self adjusting multi edge accessories and adequate clamping devices are the elements of this equipment [2]. The mentioned components are the sub members of the important shape forming elements of the machining manufacturing system for turning such as spindle unit as well as slide-machine one. These units are direct acting to have a share in surface shape forming. Thus their position errors are to be taken into consideration in the total accuracy balance of the given machining manufacturing system.

PROBLEM STATEMENT

The calculation problems of the machining manufacturing system accuracy are of the most actual tasks in solving the problem of accuracy control as well as machine tool precision evaluation in the design process and deriving the concrete parameters defining

Анотація: Запропоновано аналітичні моделі для визначення елементів матриць узагальнених похибок, які виникають в результаті деформаційних зміщень заготовки у затискному пристрої, та деформаційних зміщень різцевих блоків самоналагоджувального інструментального оснащення для токарної обробки.

Проведено оцінку впливу цих узагальнених похибок на вихідну точність оброблюваних циліндричних поверхонь консольно закріплених деталей з використанням варіаційного методу розрахунку точності машин.

Ключові слова: точність, самоналагоджувальне оснащення, затискний пристрій, аналітична модель, деформаційні зміщення

ВСТУП

Значна питома вага у трудомісткості виготовлення деталей машин припадає на токарну обробку. Процес лезової токарної обробки супроводжується пружними деформаціями та вібраціями, які чинять шкідливий вплив на шорсткість поверхні, розмірну точність, стійкість інструменту і довговічність верстату. У порівнянні з однолезовою обробкою багатолезове різання є одним із ефективних і високопродуктивних методів зменшення макро- і мікро похибок обробки та неприпустимих коливань при різанні [1]. Одним із методів мінімізації основних похибок, які можуть виникнути на різних стадіях реалізації технологічного процесу, є застосування комплексного самоналагоджувального оснащення, складовими якого є самоналагоджувальне багатолезове оснащення та відповідні затискні пристрої [2]. Ці складові є підланками таких важливих формуютьовуючих ланок технологічної оброблювальної системи для токарної обробки, як шпіндельний вузол та супортна група, що безпосередньо приймають участь у формоутворенні поверхонь. Тому їх похибки повинні враховуватися в загальному балансі точності цієї технологічної оброблювальної системи.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Задачі розрахунку точності технологічної оброблювальної системи, як одній із актуальних при вирішенні проблеми керування точністю, оцінки точності верстата на стадії проектування, встановленні окремих параметрів, що визначають

the machining accuracy etc. So a lot of scientific papers deal with this problem proposing different scientific approaches. The variation simulation method of machines precision calculation [3] can be separated among them as the most effective to develop the machine tool accuracy balance with account of numerous errors sources. The method is to use the errors fundamental characteristic that is their extremely small value in comparison with nominal dimension. So it allows obtaining the analytic expressions that share in an explicit form the input and output characteristics of the machining manufacturing system accuracy. This method allows even at the design stage to evaluate the work piece machining surface error and demands to derive the matrixes of the total errors of the shape forming motions of the machine tool units and members.

MAIN ARTICLE

To evaluate the effect of the clamping device and multi edge self adjusting equipment cutting tools blocks errors on the machining work part errors let us use the developed analytic model [4]. This model was derived from the vector accuracy balance of the turning lathe [3]. Let us consider that the errors of the shape forming system members and sub members (that are not connected with the clamping device and cutting tool blocks) as well as their relative displacements are of perfect value. In this way we can obtain the expression to derive the position error of the machined surface points in the following form of the vector:

$$\Delta \vec{r}_0 = \varepsilon_0 A_1^6 A_2^3 A_3^1 \vec{r}_3 + A_1^6 A_2^3 A_3^1 \varepsilon_3 \vec{r}_3, \quad (1)$$

where $\varepsilon_0, \varepsilon_3$ - matrixes of the total position error of the clamping device and the cutting tools blocks correspondingly as the shape forming sub members of the lathe machine; A_1^6, A_2^3, A_3^1 - matrixes that describe the spindle rotation and the motion of the slide-machine group correspondingly; $\vec{r}_3 = |0 \ 0 \ 0 \ 1|^T$ - radius-vector of the cutting tool point.

The matrixes' elements of the position total error $\varepsilon_0, \varepsilon_3$ [3 - 4] can be described as: $\delta_{x0}, \delta_{y0}, \delta_{z0}, \delta_{x3}, \delta_{y3}, \delta_{z3}$ - small displacements (linear position errors) of the system S_0, S_3 along the $X_0, Y_0, Z_0, X_3, Y_3, Z_3$ axes correspondingly; $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ - small rotational displacements (angular position errors) of the same system about the $X_0, Y_0, Z_0, X_3, Y_3, Z_3$ axes correspondingly.

We can evaluate the output accuracy of the cylindrical work piece surface determined by position error components of the self adjusting equipment as the cylinder radius deviation from the nominal dimension in the given point [3]. The two values of the diameter variation in the given cross-section and in any cross-section can serve as the limiting evaluations.

The accuracy vector balance for the work piece

точність обробки та ін., присвячено багато наукових робіт, в яких використані різні наукові підходи. Серед них можна виділити варіаційний метод розрахунку точності машин [3], який дозволяє побудувати баланс точності верстата з врахуванням багаточисельних джерел похибок. Використання в ньому фундаментальної властивості похибок – їх дуже малої величини у порівнянні із номінальним розміром – дозволяє отримати аналітичні вирази, які пов'язують в явному вигляді вхідні і вихідні характеристики точності технологічної оброблювальної системи. Цей метод дозволяє ще на стадії проектування оцінити похибку поверхні оброблюваної деталі та вимагає визначення матриць узагальнених похибок формоутворюючих рухів вузлів верстату та їх ланок.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Для оцінки впливу похибок затискного пристрою із заготовкою та різцевих блоків багатолезового самоналагоджувального оснащення на похибки оброблюваної деталі скористаємося розробленою аналітичною моделлю [4], отриманою із векторного балансу точності токарного верстата [3]. Приймавши похибки ланок і підланок формоутворюючої системи, які не зв'язні із затискним пристроєм та різцевими блоками і їх відносні переміщення абсолютно точними, вектор похибки положення точок оброблюваної поверхні буде мати вигляд:

де $\varepsilon_0, \varepsilon_3$ – матриці повної похибки положення затискного пристрою та різцевих блоків відповідно, як підланок формоутворюючих ланок токарного верстата; A_1^6, A_2^3, A_3^1 – матриці, що описують, обертання шпинделя та переміщення супортної групи відповідно; $\vec{r}_3 = |0 \ 0 \ 0 \ 1|^T$ – радіус вектор вершини різця.

Елементами матриць повної похибки положення $\varepsilon_0, \varepsilon_3$ [3 - 4] є: $\delta_{x0}, \delta_{y0}, \delta_{z0}, \delta_{x3}, \delta_{y3}, \delta_{z3}$ – малі лінійні переміщення (лінійні похибки положення) системи S_0, S_3 вздовж осей $X_0, Y_0, Z_0, X_3, Y_3, Z_3$ відповідно; $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ – малі повороти (кутові похибки положення) тієї ж системи відносно осей $X_0, Y_0, Z_0, X_3, Y_3, Z_3$ відповідно.

Оцінку вихідної точності циліндричної поверхні деталі, обумовлену похибками положення складових комплексного самоналагоджувального оснащення, можна проводити по відхиленню радіуса циліндра в даній точці від номінального [3]. В якості граничних оцінок можуть служити дві величини коливання діаметра: в заданому перерізі і в будь-якому перерізі.

Векторний баланс точності для циліндричної поверхні деталі в нормальному напрямку визначиться

cylindrical surface in the normal direction can be expressed by the equation [4]:

за залежністю [4]:

$$\Delta r_n = (\beta_0 Z + \delta_{x0} + \delta_{x3} \cos \varphi) \cos \varphi - (\alpha_0 Z + \delta_{y0} + \delta_{y3} \cos \varphi) \sin \varphi. \quad (2)$$

From the expression (2) it follows that the accuracy in the given cross-section and in any cross-section is being affected only by the displacements along the X and Y axes and rotational displacements about these axes.

Basic types of errors that take place in the clamping devices and in the multi edge tool accessories are listed at the fig. 1. The basic causes of the appearance of small displacements and small dimensional displacements in the clamping device under the effect of the cutting force in the process of work piece machining using the self adjusting equipment can be classified as: displacements both in the connecting areas of the work piece and the clamping elements and clamping device parts joints because of contact flexibility as a result of clamping force; work piece setting error in the fixing device caused by the cross-over and longitudinal seizure in the clamping elements during the clamping. The small linear displacements of the cutting tools blocks in the radial direction are caused by the contact deformations in the joints of the multi edge accessories cutting tools blocks under the affect of the cutting forces components.

Із залежності (2) випливає, що на точність циліндричної поверхні в заданому перерізі або в будь-якому перерізі впливають тільки зміщення вздовж осей X і Y та кути повороту навколо цих осей.

Основні типи похибок, які виникають в затискних пристроях та багатолезовому інструментальному оснащенні, приведені на рис. 1. Основними причинами появи малих зміщень і малих поворотів в затискному пристрої при дії сил різання, які виникають при обробці заготовки багатолезовим самоналагоджувальним оснащенням є: зміщення в місцях спряжень заготовки і затискних елементів та у стиках деталей затискного пристрою внаслідок контактної податливості в результаті дії сил затиску; похибка встановлення заготовки у затискному пристрої, викликана її поперечним і поздовжнім заклинюванням в затискних елементах при затисканні. Малі лінійні зміщення різцевих блоків у радіальному напрямку викликані контактними деформаціями в стиках різцевих блоків багатолезового оснащення під дією складових сил різання.

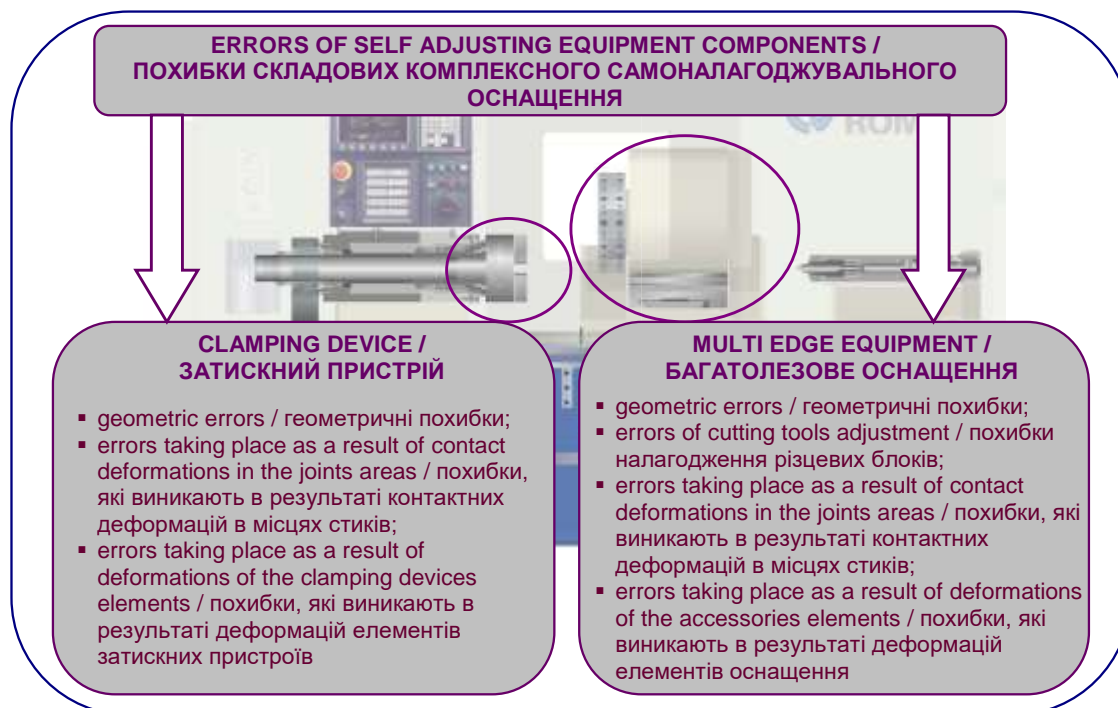


Fig. 1 - Errors of complex self adjusting equipment components / Похибки складових комплексного самоналагоджувального оснащення

The work piece clamped in the jaws can be considered as the rigid cylindrical body resting on the discrete elastic single sided supports that simulate the radial unit stiffness of the clamping elements joints (fig. 2,a). At the determining position total error matrix of the work piece system in the clamping device let us

Деталь, защемлену в кулачках, можна рахувати як жорстке циліндричне тіло, яке опирається на дискретні пружні односторонні опори, що моделюють приведену радіальну жорсткість стиків затискних елементів (рис. 2,а). При визначенні матриці повної похибки положення системи заготовки в затискному

assume the following assumptions: displacements and rotational displacements of the system elements are small; natural stiffness of the clamping device elements is vastly larger than the joints contact stiffness; displacements dependence on the loading in the acting forces range is linear.

The equilibrium condition of the system is the following (fig. 2,a) [3, 5]:

$$C \cdot \bar{\Delta} = \bar{F}, \quad (3)$$

where C - symmetrical stiffness matrix of 6×6 order; $\bar{\Delta} = (\delta_{x0}, \delta_{y0}, \delta_{z0}, \alpha_0, \beta_0, \gamma_0)^T$ - vector of work piece system of axes total error as a result of joints contact deformations; $\bar{F} = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)^T$ - vector of the generalized loading.

пристрої приймаємо наступні припущення: зміщення і кути повороту елементів системи малі; власна жорсткість елементів затискного пристрою набагато більша від контактної жорсткості стиків; лінійна залежність зміщень від навантаження в діапазоні діючих зусиль.

Умова рівноваги системи (рис.2,а) [3, 5]:

де C – симетрична порядку 6×6 матриця жорсткості; $\bar{\Delta} = (\delta_{x0}, \delta_{y0}, \delta_{z0}, \alpha_0, \beta_0, \gamma_0)^T$ – вектор узагальненої похибки системи координат деталі в результаті контактних деформацій стиків; $\bar{F} = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)^T$ – вектор узагальненого навантаження.

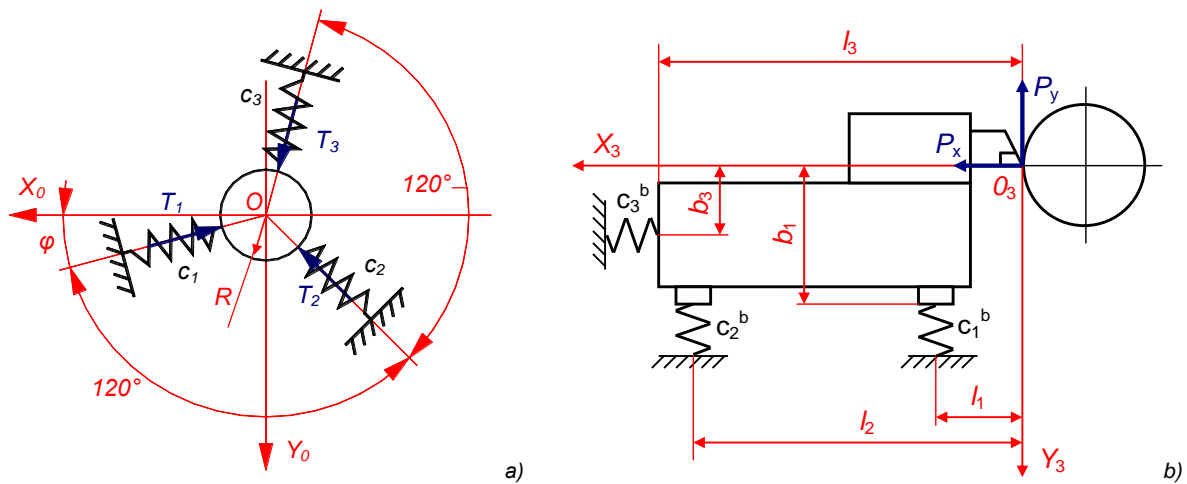


Fig. 2 - Loading diagram for determining the total error matrix of the clamping device (a) and cutting tool block (b) / Розрахункова схема для визначення матриць повної похибки затискного пристрою (а) та різцевого блоку (б)

The elements of the stiffness matrix C are calculated by formula:

Елементи матриці жорсткості C обчислюються за формулою:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^N c_k R_{ik} R_{jk}, \quad (4)$$

where c_k – stiffness of the k support, $k = 1, 2, \dots, N$; $R_k = (a_{xk}, a_{yk}, a_{zk}, m_{xk}, m_{yk}, m_{zk})^T$ - vector of the generalized coordinates and displacement directions of the point of the k support; a_{xk}, a_{yk}, a_{zk} - unitary vector components of the \bar{a}_k axis direction of the k support; m_{xk}, m_{yk}, m_{zk} - unitary vector \bar{m}_k components.

де c_k – жорсткість k -ї опори, $k = 1, 2, \dots, N$; $R_k = (a_{xk}, a_{yk}, a_{zk}, m_{xk}, m_{yk}, m_{zk})^T$ – вектор узагальнених координат і напрямків зміщень точки k -ї опори; a_{xk}, a_{yk}, a_{zk} – компоненти одиничного вектора напрямку осі k -ї опори \bar{a}_k ; m_{xk}, m_{yk}, m_{zk} – компоненти одиничного вектора \bar{m}_k .

The resulted loads vector \bar{F} elements take the values: $F_z = 0$; $M_x = 0$; $M_y = 0$; $M_z = 0$; $F_x = -T_1 \cos \varphi - T_2 \cos(\varphi + 120^\circ) - T_3 \cos(\varphi + 240^\circ)$; $F_y = -T_1 \sin \varphi - T_2 \sin(\varphi + 120^\circ) - T_3 \sin(\varphi + 240^\circ)$; , where T_1, T_2, T_3 – the clamping forces of the clamping elements.

Елементи вектора узагальненого навантаження \bar{F} будуть мати значення: $F_z = 0$; $M_x = 0$; $M_y = 0$; $F_x = -T_1 \cos \varphi - T_2 \cos(\varphi + 120^\circ) - T_3 \cos(\varphi + 240^\circ)$; $F_y = -T_1 \sin \varphi - T_2 \sin(\varphi + 120^\circ) - T_3 \sin(\varphi + 240^\circ)$; $M_z = 0$, де T_1, T_2, T_3 – зусилля затиску затискними елементами.

The initial data for the calculation of the stiffness C matrix is listed in the table 1.

Вихідні дані для розрахунку матриці жорсткості C приведені в табл. 1.

Table 1

Initial data for calculation of stiffness matrix C / Вихідні дані для розрахунку матриці жорсткості C

Number of support / Номер опори	The point of application / Точка прикладання			Vector direction / Вектор напрямку			Stiffness / Жорсткість	Moment of axial support / Момент осевої опори		
	x_k	y_k	z_k	a_{xk}	a_{yk}	a_{zk}		m_{xk}	m_{yk}	m_{zk}
1	$R \cos \varphi$	$R \sin \varphi$	0	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	0	c_1	0	0	0
2	$R \cos(\varphi + 120^\circ)$	$R \sin(\varphi + 120^\circ)$	0	$\cos(\varphi + 120^\circ)$	$\sin(\varphi + 120^\circ)$	0	c_2	0	0	0
3	$R \cos(\varphi + 240^\circ)$	$R \sin(\varphi + 240^\circ)$	0	$\cos(\varphi + 240^\circ)$	$\sin \varphi$	0	c_3	0	0	0

After calculation the stiffness matrix C elements the equation system of determining of small linear and angular displacements as a result of work piece cross over seizure in the clamping device takes a form:

$$\begin{cases} c_1 \delta_{x0} + c_{12} \delta_{y0} = -T_1 \cos \varphi - T_2 \cos(\varphi + 120^\circ) - T_3 \cos(\varphi + 240^\circ) \\ c_2 \delta_{x0} + c_{22} \delta_{y0} = -T_1 \sin \varphi - T_2 \sin(\varphi + 120^\circ) - T_3 \sin(\varphi + 240^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

From the given system of equations the small linear displacements δ_{x0} , δ_{y0} are to be calculated. For the cross over seizure variant the angular displacements values are: $\alpha_0 = 0$, $\beta_0 = 0$.

Cutting forces equalization and compensation in multi edge cutting using adaptive inter tool links in machining allows to impact intensively on manufacturing system deformations. Thus in two edge machining after the feed partition method the cutting tools found themselves in the same cross section of cut, the cutting forces comes to equalization and work piece deformations reduce to zero.

The cutting tools block can be considered as the rigid body resting on the discrete single sided rests that simulate the radial unit stiffness of joints in the guides as well as the joints radial unit stiffness of the drive of their preliminary adjusting displacements (fig.2,b). In calculating total position errors matrix of this system let us assume the following assumptions: displacements and angular movements of the system elements are small; natural stiffness of the cutting tools block is vastly larger than the joints contact stiffness; displacements dependence on the loading in the acting forces range is linear. In this way the equilibrium condition of the system is the following (fig.2,b) [3, 5] is:

$$C_3 \cdot \bar{\Delta}_3 = \bar{F}_3, \quad (5)$$

where C_3 - the symmetrical stiffness matrix of the 6×6 order; $\bar{\Delta}_3$ - generalized errors vector of the coordinate system of the cutting tools block as a result of joints contact deformations; \bar{F}_3 - resulted forces vector.

The initial data for the calculation of the stiffness C_3 matrix is listed in the table 2.

Having found after the dependence (4) the stiffness matrix C_3 elements we obtain the equation to determine

Після визначення елементів матриці жорсткості C система рівнянь для визначення малих лінійних і кутових зміщень внаслідок поперечного заклинювання заготовки в затискному пристрої:

Із даної системи рівнянь визначаються малі лінійні зміщення деталі δ_{x0} , δ_{y0} . При поперечному заклинюванні кутові зміщення $\alpha_0 = 0$, $\beta_0 = 0$.

Вирівнювання і компенсація зусиль різання при багатолезовій обробці на основі використання адаптивного міжінструментального зв'язку засобами керування дозволяє суттєво вплинути на деформації технологічної системи. Так, при дволезовій паралельній токарній обробці за методом поділу подачі різці знаходяться в одному січенні зрізу, зусилля різання вирівняні і деформації власне заготовки усунуті.

Різцевий блок можна рахувати як жорстке тіло, яке опирається на дискретні пружні односторонні опори, що моделюють приведену радіальну жорсткість стиків у напрямних та приведену радіальну жорсткість стиків приводу їх поперечних налагоджувальних переміщень (рис. 2,б). При визначенні матриці повної похибки положення цієї системи приймаємо наступні припущення: зміщення і кути повороту елементів системи малі; власна жорсткість різцевого блоку набагато більша від контактної жорсткості стиків; лінійна залежність зміщень від навантаження в діапазоні діючих зусиль. Умова рівноваги системи (рис.2,б) [3, 5]:

де C_3 - симетрична порядку 6×6 матриця жорсткості; $\bar{\Delta}_3$ - вектор узагальненої похибки системи координат різцевого блоку в результаті контактних деформацій стиків; \bar{F}_3 - вектор узагальненого навантаження. Вихідні дані для розрахунку матриці жорсткості C_3 приведені в табл. 2.

Знайшовши за залежністю (4) елементи матриці жорсткості C_3 отримаємо рівняння для визначення

the small linear displacement δ_{x3} value.

малого лінійного зміщення δ_{x3} .

Table 2

Initial data for calculation of stiffness matrix C_3 / Вихідні дані для розрахунку матриці жорсткості C_3

Number of support / Номер опори	The point of application / Точка прикладання			Vector direction / Вектор напрямку			Stiffness / Жорсткість	Moment of axial support / Момент осьової опори		
	x_k	y_k	z_k	a_{xk}	a_{yk}	a_{zk}		m_{xk}	m_{yk}	m_{zk}
1	l_1	b_1	0	0	1	0	c_1^b	0	0	l_1
2	l_2	b_1	0	0	1	0	c_2^b	0	0	l_2
3	l_3	b_3	0	1	0	0	c_3^b	0	0	b_3

After computing the stiffness matrix C_3 elements the equation system of determining the small linear and angular displacements of the cutting tool block takes a form

Після визначення елементів матриці жорсткості C_3 система рівнянь для визначення малих лінійних і кутових зміщень різцевого блоку:

$$\begin{cases} c_{11}\delta_{x3} + c_{16}\gamma_3 = P_x \\ c_{22}\delta_{y3} + c_{26}\gamma_3 = -P_y \\ c_{16}\delta_{x3} + c_{26}\delta_{y3} + c_{66}\gamma_3 = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

From the given system of equations the small linear work piece displacement δ_{x3} is to be determined. This displacement enters the evaluation dependence (2) of output accuracy of the work part cylindrical surface.

The impact of total errors of complex self adjusting equipment on the cylindrical surface accuracy was computed according to the deviation of the cylinder radius along the moving line at different angular positions of the clamping elements. In this way the cutting force radial component was varying in a 100 – 400 N range. Two variants were tested: 1) radial clamping forces of clamping elements equal: $T_1 = T_2 = T_3 = 10$ kN; 2) radial clamping forces of clamping elements not equal that is $T_1 = 10$ kN, $T_2 = 9$ kN, $T_3 = 9,5$ kN (the cross over work piece seizure). The results of simulation modelling for these conditions are illustrated at the figure 3.

As a result of modelling it is discovered that the maximum radius deviation increases as the cutting force radial component value rises (fig. 3). This can be explained by the small linear displacements increasing caused by deformations of the cutting tools blocks. Thus as P_x value rises from 100 N to 400N at equal clamping forces the maximum Δr_n value have increased from 1,9 to 7,6 mkm. In another way - when the clamping forces were not equal – this value have increased from 6,4 to 9,7 mkm. So the Δr_n dispersion decrease is present as the P_x rises at the equal clamp conditions and clamping with different clamping forces (cross-over seizure).

As it can be observed from the fig. 3 the clamping device clamping forces of jaws inequality brings to

із даної системи рівнянь визначається мале лінійне зміщення деталі δ_{x3} , яке входить у залежність (2) оцінки вихідної точності циліндричної поверхні деталі.

Вплив узагальнених похибок складових комплексного самоналагоджувального оснащення на точність циліндричної поверхні проводилася по відхиленню радіуса циліндра вздовж твірної при різних кутових положеннях затискних елементів за допомогою ЕОМ. При цьому радіальна складова сила різання варіювалася в діапазоні від 100 до 400 Н. Розглядалися два варіанти: радіальні зусилля затиску затискними елементами були рівними $T_1 = T_2 = T_3 = 10$ кН; радіальні зусилля затиску затискними елементами були різними, тобто $T_1 = 10$ кН, $T_2 = 9$ кН, $T_3 = 9,5$ кН (поперечне заклинювання заготовки). Результати моделювання для цих умов приведені на рис. 3.

В результаті моделювання встановлено, що при збільшенні радіальної складової сили різання максимальне відхилення радіуса збільшується (рис.3), що пояснюється збільшенням малих лінійних зміщень, викликаних деформаціями різцевих блоків. Так при збільшенні P_x від 100 Н до 400Н при рівних силах затиску максимальне значення Δr_n збільшилося із 1,9 до 7, 6 мкм, а при нерівних силах затиску – від 6,4 до 9,7 мкм. При цьому спостерігається зменшення розкиду Δr_n із збільшенням P_x для рівномірного затиску і затиску із різними силами затиску (поперечне заклинювання). Як видно із рис. 3 нерівномірність сил затиску кулачками затискного пристрою призводить як до збільшення так і до зменшення

both increasing and decreasing of the nominal machined radius by Δr_n value at certain angular positions. In this way the angular range of the positive and negative Δr_n values reaches $\pi/2$ when cutting force is off. Under the cutting force P_x action the increase or decrease of the machined radius by Δr_n should depend on the difference of all jaws cutting forces that is defined by the clamping system position in relation to the initial position.

номінального радіуса обробки на величину Δr_n в певних кутових положеннях. При цьому величина додатних і від'ємних значень Δr_n складає $\pi/2$ при відсутності сили різання. При дії сили різання P_x зменшення чи збільшення радіуса обробки на Δr_n буде залежати від різниці сил затиску кожним кулачком, що визначатиметься положенням системи затиску відносно вихідного положення.

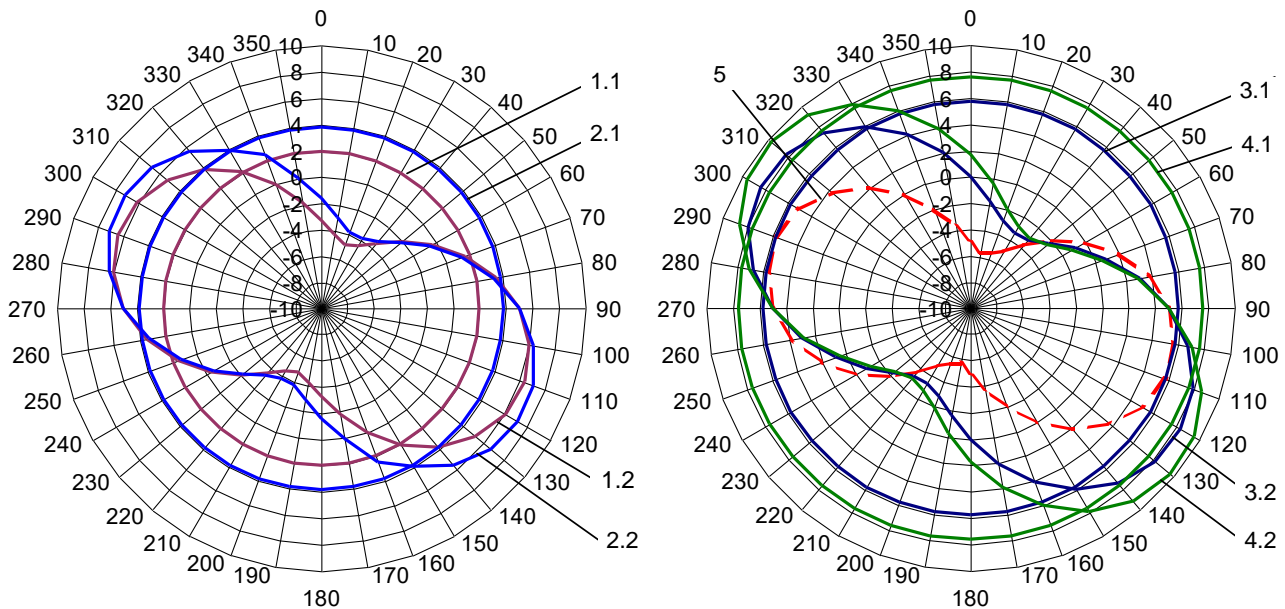


Fig. 3 - Cylinder radius deviation along the moving line at different angular positions of the clamping elements: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 – the radial component of the cutting force is correspondingly 100N, 200N, 300N, 400N the jaws clamping forces are equal $T_1 = T_2 = T_3 = 10$ kN; 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 – the radial component of the cutting force is correspondingly 100N, 200N, 300N, 400N; the jaws clamping forces are not equal $T_1 = 10$ kN; $T_2 = 9$ kN; $T_3 = 9,5$ kN / Відхилення радіуса циліндра вздовж твірної при різних кутових положеннях затискних елементів: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 – при радіальній складовій сили різання відповідно 100Н, 200Н, 300Н, 400Н та рівних силах затиску кулачками $T_1 = T_2 = T_3 = 10$ кН; 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 – при радіальній складовій сили різання відповідно 100Н, 200Н, 300Н, 400Н та силах затиску кулачками $T_1 = 10$ кН; $T_2 = 9$ кН; $T_3 = 9,5$ кН; 5 – викликане тільки затискним пристроєм при силах затиску кулачками $T_1 = 10$ кН; $T_2 = 9$ кН; $T_3 = 9,5$ кН

CONCLUSIONS

Dependences for determining the small linear displacements and angular movements caused by the cross over work piece seizure in the clamping chuck, as well as the small linear displacements caused by the cutting tool blocks deformations under the cutting forces components action are developed. Basing on the mentioned dependences the cylindrical work part surface radius deviations in regard to the rotational angle were obtained. As a result of modelling it is established the uniformity of the cylindrical work part surface radius deviations all along its length at the certain angular positions of the clamping device. It all goes to show the positive effect of using of the multi edge self adjusting equipment in the process of machining.

REFERENCES

[1]. Kuznetsov Y.N., Lutsiv I.V., Shevchenko O.V., Voloshyn V.N. (2011) – Manufacturing accessories for high effective work parts machining on lathes: Monograph. – Kyiv-Ternopil: Ternograph. – 692p.

ВИСНОВКИ

Отримані залежності для визначення малих лінійних зміщень і кутів повороту, викликаних поперечним заклинюванням заготовки в затискному патроні та малих лінійних зміщень, викликаних деформаціями різцевих блоків під дією складових сил різання. На їх основі визначені відхилення радіуса циліндричної поверхні деталі по куту повороту. За результатами моделювання встановлено постійність відхилення радіуса циліндричної поверхні деталі по довжині у певних кутових положеннях затискного пристрою що свідчить про доцільність застосування багатозазубового самоналагоджувального оснащення.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

[1]. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. (2011) – Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія. – К.: – Тернопіль: Тернограф.– 692 с.

[2]. Lutsiv I., Voloshyn V., Buhovets V. (2015) – Complex self adjusting accessory for turning //Report abstracts of the 12-th international symposium of Ukrainian mechanical engineers in Lviv. – Lviv: KINPATRI LTD. – P.88-89.

[3]. Reshetov D.N. (1986) – Machine tools precision. – M.: Mashynostroeniye. – 336p.

[4]. Lutsiv I.V., Voloshyn V.N., Buhovets V.N. (2015) – Evaluation model of self adjusting equipment components errors on output accuracy of the lathe// Proceedings of the V-th AllUkrainian scientific and technical conference «Progressive manufacturing processes» – Lviv. – P.72-74.

[5]. Ivahnenko A.G., Kuts V.V. (2013) – Predesign metal cutting systems research. – Kursk: South West state university. – 188p.

[2]. Луців І., Волошин В., Буховець В. – (2015) – Комплексне самоналагоджувальне оснащення для токарної обробки// Тези доповідей 12-го міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. – С.88-89.

[3]. Решетов Д.Н. (1986) – Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение.– 336 с.

[4]. Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. (2016) – Модель оцінки впливу похибок складових самоналагоджувального оснащення на вихідну точність токарного верстата// Збірник наукових праць V Всеукраїнської науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». – Львів.– С. 72-74.

[5]. Ивахненко А.Г., Куц В.В. (2013) – Предпроектные исследования металлорежущих систем. – Курск: Юго-Западный государственный университет. – 188 с.