УДК 621.01(75)

О. В. Дерібо[1]
Ж. П. Дусанюк[1]
А. Ф. Кулик[1]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ КЕРУВАННЯМ І НА ВЕРСТАТІ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

[1]Вінницький національний технічний університет

Виконано порівняльний аналіз точності обробки на прикладі чистового фрезерування площини заготовки корпусної деталі на верстаті з ручним керуванням та верстаті з числовим програмним керуванням. Це дозволило виявити рівень впливу елементарних похибок на точність обробки.

Ключові слова: механічна обробка, точність, чистове фрезерування, верстат з ручним керуванням, верстат з числовим програмним керуванням.

Вступ і постановка задачі

Однією з основних вимог до операцій механічної обробки є забезпечення заданої технологом точності отримуваних розмірів. Необхідною умовою роботи без браку під час виконання певного технологічного переходу обробки партії заготовок деталей на настроєному верстаті є забезпечення виконання співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} \le T, \tag{1}$$

де ε_{Σ} — сумарна похибка обробки, яка дорівнює полю розсіювання розмірів, отриманих в результаті механічної обробки партії заготовок; T — допуск забезпечуваного розміру.

Величина ε_{Σ} залежить від низки незалежних одна від одної (елементарних) похибок. Згідно з [1]

$$\varepsilon_{\Sigma} = f\left(\varepsilon_{у}; \varepsilon_{н}; \varepsilon_{пд}; \varepsilon_{і}; \varepsilon_{в}; \varepsilon_{т}\right), \tag{2}$$

де $\varepsilon_{у}; \varepsilon_{н}; \varepsilon_{пд}; \varepsilon_{і}; \varepsilon_{в}; \varepsilon_{т}$ — похибки, зумовлені відповідно: неточністю установлення заготовки у верстатний пристрій, неточністю налагодження верстата, пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання, розмірним зносом різального інструмента, геометричною неточністю верстата, тепловими деформаціями технологічної системи.

Рівень впливу елементарних похибок на величину ε_{Σ} залежить від умов виконання обробки і, зокрема, від характеристик і технологічних можливостей металорізальних верстатів. В монографії [2] розглянуто загальний підхід до виявлення балансу похибок, які виникають під час обробки на верстаті з ручним керуванням і на верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК). На думку авторів цієї статті певний інтерес становить кількісне порівняння впливу величини цих похибок на точність обробки на верстаті з ручним керуванням та на верстаті з ЧПК. Таким чином, за *об'єкт дослідження* вибраний технологічний процес механічної обробки заготовки корпусної деталі. *Предметом дослідження* є процес чистового торцевого фрезерування однієї з поверхонь заготовки деталі.

Мета роботи — виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку під час фрезерної обробки на верстаті з ручним керуванням і на верстаті з ЧПК.

Результати дослідження

Для умов серійного виробництва порівнювалися два варіанти виконання технологічної операції:

1 *варіант* — чистове торцеве фрезерування на консольному вертикально-фрезерному верстаті підвищеної точності 6М13П і 2 *варіант* — чистове торцеве фрезерування на багатоцільовому вер-

© О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, А. Ф. Кулик, 2016

статі з ЧПК TAJMAC-ZPS H500 (Чехія). Передбачалось, що на верстаті TAJMAC-ZPS H500 буде виконуватись як попереднє (чорнове), так і остаточне (чистове) фрезерування. Ескіз обробки показаний на рис. 1.

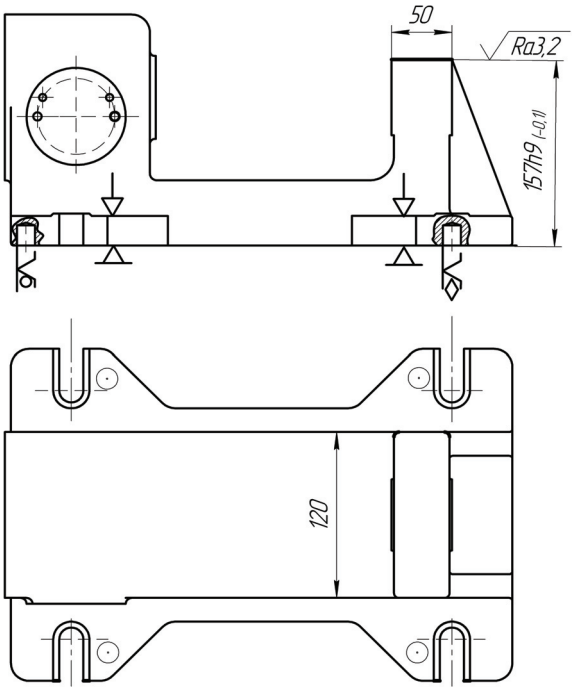

Рис. 1. Ескіз обробки площини корпусної деталі в розмір 157*h*9 мм

Згідно з [1], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної площини відносно іншої площини (вимірювальної бази), залежність (2) має вигляд

$$\varepsilon_{\Sigma} = t\sqrt{\left(K_1\varepsilon_{\text{у}}\right)^2 + \left(K_2\varepsilon_{\text{н}}\right)^2 + \left(K_3\varepsilon_{\text{пд}}\right)^2 + \left(K_4\varepsilon_{\text{і}}\right)^2 + \left(K_5\varepsilon_{\text{в}}\right)^2 + \left(K_6\varepsilon_{\text{т}}\right)^2}\,, \tag{3}$$

де t — коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності роботи без браку; $K_1 \ldots K_6$ — коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок.

Спочатку визначимо елементарні похибки, а потім і сумарну похибку розміру $157h9_{(-0,1)}$ мм, що виникають в процесі чистового фрезерування площини на верстаті 6М13П.

Прийнято такі технологічні умови: операція складається з одного переходу — чистового фрезерування площини в заданий розмір; заготовку (виливок з сірого чавуну) встановлено чисто обробленою поверхнею на чотири опорні пластини із закріпленням за допомогою чотирьох гвинтових затискачів (прихватів); настроювання фрези на розмір обробки здійснюється за еталоном.

Похибка установлення визначалась за формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{у}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^{\,2} + \varepsilon_{\text{з}}^{\,2} + \varepsilon_{\text{пр}}^{\,2}}\,, \tag{4}$$

де $\varepsilon_{\text{б}}$ — похибка базування; $\varepsilon_{\text{з}}$ — похибка закріплення; $\varepsilon_{\text{пр}}$ — похибка положення заготовки у верстатному пристрої.

У випадку, що розглядається, $\varepsilon_{\text{б}} = 0$ оскільки виконується принцип суміщення баз.

Похибка закріплення $\varepsilon_{\text{з}}$ визначалась за формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{з}} = \left(y_{\max} - y_{\min}\right)\cos\alpha\,, \tag{5}$$

де $y_{\max}$ і $y_{\min}$ — відповідно, максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили закріплення; α — кут між напрямом виконуваного розміру і напрямом дії сили затискання.

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначено за експериментально отриманими формулами [3]. Для випадку встановлення заготовки на опорні пластини ці формули матимуть вигляд

$$y_{\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{9,8F}\right)^{0,6} \left(0,776 + 0,053F + 0,016Rz_{\max} - 0,045HB_{\min}\right); \quad (6)$$

$$y_{\min} = \left(\frac{Q_{\min}}{9,8F}\right)^{0,6} \left(0,776 + 0,053F + 0,016Rz_{\min} - 0,045HB_{\max}\right), \quad (7)$$

де $Q_{\max}$ і $Q_{\min}$ — найбільше і найменше значення сили, яка діє з боку кожного із затискачів на заготовку, Н; F — площа опорної пластини, см^2; $Rz_{\max}$ і $Rz_{\min}$ — найбільша і найменша висота мікронерівностей на поверхні технологічної бази, мкм; $HB_{\max}$ і $HB_{\min}$ — найбільша і найменша твердість (за Брінеллем) поверхні технологічної бази.

Необхідна для надійного затискання заготовки сила Q визначалась за формулою [4]

$$Q = \frac{K}{nf}\sqrt{P_z^2 + P_h^2}, \quad (8)$$

де P_z і P_h — складові сили різання: головна (окружна) сила і сила подачі, відповідно; K — коефіцієнт запасу; n — кількість затискачів; f — коефіцієнт тертя між площиною заготовки і опорною пластиною.

Складові сили різання P_z і P_h визначались за емпіричними формулами [5]

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w}; \quad (9)$$

$$P_h = 0,5\,P_z, \quad (10)$$

де t — глибина різання, мм; s_z — подача, мм/зуб; B — ширина фрезерування, мм; z, D і n — кількість зубів, діаметр і частота обертання фрези; C_p, x, y, u, q, w — коефіцієнт і показники степеня, величини яких визначались за [5].

Розрахунок $\varepsilon_з$ виконувався за таких режимів різання, параметрів оброблюваної заготовки, значень складових сили різання і граничних значень сили затискання: t = 0,32 мм, s_z = 0,1 мм/зуб, B = 120 мм, D = 160 мм; z = 10; α = 0; F = 16 см^2; $Rz_{\max}$ = 12 мкм; $Rz_{\min}$ = 9 мкм; $HB_{\max}$ = 200; $HB_{\min}$ = 150; K = 2,3; n = 4; f = 0,16; P_z = 180 Н; P_h = 90 Н; $Q_{\max}$ = 4,9 кН; $Q_{\min}$ = 3,8 кН. Розрахована за формулою (5) величина $\varepsilon_з$ склала 4 мкм.

Похибка $\varepsilon_{пр}$ визначалась за формулою [3]

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{ус}^{\,2} + \varepsilon_{зу}^{\,2} + \varepsilon_{пв}^{\,2}}, \quad (11)$$

де $\varepsilon_{ус}$, $\varepsilon_{зу}$, $\varepsilon_{пв}$ — похибки, спричинені, відповідно: неточністю виготовлення і складання встановлювальних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю встановлення пристрою на верстат.

Похибка $\varepsilon_{ус}$ вважалась відсутньою, оскільки у випадку, що розглядається, вона може бути компенсована під час настроювання фрези на розмір обробки.

Похибка $\varepsilon_{зу}$ визначена за емпіричною формулою [3]

$$\varepsilon_{зу} = \beta\sqrt{N}, \quad (12)$$

де β — коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту; N — кількість контактів заготовки з опорами верстатного пристрою.

Згідно з [3] для прийнятих технологічних умов β = 0,2. Приймемо, що N = 100. Тоді $\varepsilon_{зу}$ складатиме 2 мкм.

Похибка $\varepsilon_{пв}$ у випадку, що розглядається, відсутня, оскільки відсутній зазор у напрямку отри-

муваного розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата. Таким чином, $\varepsilon_{пр} = \varepsilon_{зу} = 2$ мкм.

Підставивши визначені значення складових похибки установлення в (4), отримаємо $\varepsilon_{у} = 5$ мкм.

Похибка настроєння верстата $\varepsilon_{н}$ за умови настроювання фрези на розмір обробки за еталоном визначалась за формулою [1]

$$\varepsilon_{н} = \sqrt{\left(K_{р}\varepsilon_{р}\right)^2 + \left(K_{вм}\varepsilon_{вм}\right)^2}\,, \tag{13}$$

де $\varepsilon_{р}$ і $\varepsilon_{вм}$ — похибка регулювання і похибка вимірювання, відповідно; $K_{р}$ і $K_{вм}$ — коефіцієнти, які враховують відхилення законів розподілу відповідних похибок від нормального закону.

Похибка $\varepsilon_{р}$ визначалась за формулою [5]

$$\varepsilon_{р} = 1,2\sqrt{\left(\varepsilon_{в.е}\right)^2 + \left(\varepsilon_{в.і}\right)^2}\,, \tag{14}$$

де $\varepsilon_{в.е}$ і $\varepsilon_{в.і}$ — відповідно, похибки виготовлення еталона і встановлення інструмента на еталон.

Похибка $\varepsilon_{вм}$ прийнята рівною ціні поділки $\Delta_{і}$ вимірювального інструмента.

Розрахунок $\varepsilon_{н}$ виконувався за таких параметрів [1]: $K_{р} = 1,7$; $K_{вм} = 1,0$; $\varepsilon_{в.е} = 20$ мкм; $\varepsilon_{в.і} = 10$ мкм; $\Delta_{і} = 10$ мкм. В результаті, розрахована за формулою (13) величина $\varepsilon_{н}$, склала 47 мкм.

Похибка, зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання, визначалась за формулою

$$\varepsilon_{пд} = \omega_{\Sigma}\left(P_{x_{\max}} - P_{x_{\min}}\right), \tag{15}$$

де ω_{Σ} — сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, фрези і заготовки; $P_{x_{\max}}$ і $P_{x_{\min}}$ — відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Під час визначення величини ω_{Σ} вважалось, що податливості верстатного пристрою, фрези і заготовки суттєво менші за податливість верстата $\omega_{в}$, тобто приймалося, що $\omega_{\Sigma} = \omega_{в} = 0,026$ мкм/Н [1]. Згідно з [5] вважалося, що $P_{x} = 0,5\,P_{z}$. Очевидно, що на зміну величини P_{x} впливатиме зміна припуску на чистове фрезерування і, відповідно, глибина різання t під час обробки заготовок партії. Вважалося, що на переході, який розглядається, $t_{\max} = 0,32$ мм; $t_{\min} = 0,16$ мм. За цих умов отримано $P_{x_{\max}} = 133$ Н; $P_{x_{\min}} = 70$ Н. Визначена за формулою (15) величина $\varepsilon_{пд}$ складе 2 мкм.

Похибка $\varepsilon_{і}$, що виникає через розмірний знос зубів торцевої фрези під час обробки партії заготовок, визначалась за формулою [6]

$$\varepsilon_{і} = \frac{u_0 lBN}{10^6 z s_z}, \tag{16}$$

де u_0 — відносний розмірний знос зуба фрези; l — довжина оброблюваної поверхні.

Величина u_0, визначена згідно з рекомендаціями [7], склала 26 мкм/км. В результаті розрахована за формулою (16) величина $\varepsilon_{і}$ склала 33 мкм.

Похибку $\varepsilon_{в}$ в цьому випадку спричиняє непаралельність площини столу до напрямку його руху. Згідно з [1] ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_{в} = \frac{Cl}{L_{б}}, \tag{17}$$

де C — допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку його руху в межах базової довжини $L_{б}$.

Прийнявши згідно з [1], що C = 20 мкм, $L_б$ = 400 мкм, за формулою (17) знайдемо $\varepsilon_в$ = 6 мкм.

Похибка, що замовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [1] складає приблизно 15 % від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_т = 0{,}15\left(\varepsilon_у + \varepsilon_н + \varepsilon_{п.д} + \varepsilon_і + \varepsilon_в\right). \quad (18)$$

Таким чином, визначена за формулою (18) похибка $\varepsilon_т$ складе 15 мкм.

Визначимо ε_Σ, прийнявши: t = 1 (очікуваний брак складе 0,03 %); $K_1 = K_2 = K_3$ = 1 (розподіл похибок $\varepsilon_у$, $\varepsilon_н$, $\varepsilon_{п.д}$ відповідає нормальному закону); $K_4 = K_5 = K_6$ = 1,73 (розподіл похибок $\varepsilon_і$, $\varepsilon_в$, $\varepsilon_т$ відповідає закону рівної імовірності).

Таким чином, визначена за формулою (3) ε_Σ у випадку обробки на верстаті 6М13П склала 80 мкм.

Далі визначимо спочатку елементарні похибки, а потім і сумарну похибку обробки на багатоцільовому верстаті з ЧПК. Під час виконання розрахунків вважалося, що на цьому верстаті з установленням на чистові бази (див. рис. 1) здійснюється попередня і остаточна обробка більшості поверхонь, у т. ч. і чистове торцеве фрезерування поверхні, що розглядається.

Зміст розрахунку елементарних та сумарної похибок обробки на верстатах з ЧПК принципово не відрізняється від розрахунку на верстатах з ручним керуванням. Але на сумарну похибку впливає дещо більша кількість елементарних похибок [2]. Для випадку фрезерної обробки на верстаті TAJMAC-ZPS H500 до додаткових похибок можуть бути віднесені: похибка позиціювання (розмірного переміщення) пінолі шпинделя; похибка відпрацювання корекції положення інструмента.

Похибка установлення $\varepsilon_у$, як і у першому варіанті обробки, визначалась за формулою (4). Аналіз складових $\varepsilon_у$ показує, що майже всі вони залишаються такими ж, як і у випадку обробки на верстаті з ручним керуванням. Виняток складає $\varepsilon_з$, оскільки на багатоцільовому верстаті з ЧПК з одного установа виконується як попередня, так і остаточна обробка. Тому сила затискання і, відповідно $\varepsilon_з$, будуть більшими. Під час визначення $\varepsilon_з$ вважалось, що найбільша сила різання виникає в процесі попереднього (чорнового) фрезерування.

Для обробки на верстаті з ЧПК розрахунок $\varepsilon_з$ виконувався за таких режимів різання, параметрів оброблюваної заготовки, значень складових сили різання і граничних значень сили затискання: t = 3 мм, s_z = 0,25 мм/зуб, B = 120 мм; D = 160 мм; z = 10; α = 0; F = 32 см^2; Rz_{max} = 12 мкм; Rz_{min} = 9 мкм; HB_{max} = 200; HB_{min} = 150; K = 2,3; n = 4; f = 0,16; P_z = 3973 Н; P_h = 1987 Н; Q_{min} = 16,1 кН; Q_{max} = 1,3 Q_{min} = 20,9 кН;

Розрахована за формулою (5) величина $\varepsilon_з$ склала 30 мкм.

Отримана величина $\varepsilon_з$ є значно більшою у порівнянні з першим варіантом обробки. Це пояснюється необхідністю прикладання суттєво більших сил затискання для забезпечення сталого положення заготовки під час чорнової обробки. Похибку $\varepsilon_з$ можна зменшити, використавши замість опорних пластин з гладкою поверхнею (за ГОСТ 4743—68) круглі опори з насіченою головкою (за ГОСТ 13442—68). Це збільшить коефіцієнт тертя f між поверхнею технологічної бази і заготовкою з 0,16 до 0,7 і, відповідно, зменшить мінімальну силу затискання Q_{min} з 16,1 кН до 3,7 кН, а Q_{max} = 1,3 Q_{min} до 4,8 кН. Відповідно до [3] для умов установлення заготовки на круглі опори з насіченою головкою найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначені за формулами

$$y_{max} = Q_{max}{}^{0,6}\left(1{,}76 - 0{,}0008HB_{min} - 0{,}03D\right); \quad (19)$$

$$y_{min} = Q_{min}{}^{0,6}\left(1{,}76 - 0{,}0008HB_{max} - 0{,}03D\right), \quad (20)$$

де D = 40 мм — діаметр головки опори.

Розрахунок за формулами (19) і (20) показав, що y_{max} = 18 мкм; y_{min} = 15 мкм, а $\varepsilon_з$, визна-

чена за формулою (5), склала 3 мкм. Похибка $\varepsilon_{у}$, визначена за формулою (4), склала 4 мкм.

Похибка $\varepsilon_{п.д.}$ визначалась за тією ж методикою, що і у випадку обробки на верстаті з ручним керуванням. Але, оскільки жорсткість вузлів сучасних верстатів з ЧПК в середньому в 2 рази більша, ніж у верстатів з ручним керуванням, то прийнято, що у другому варіанті обробки $\varepsilon_{п.д.} = 1$ мкм.

Для верстата з ЧПК похибка $\varepsilon_{н}$ визначалась з урахуванням того, що для точної обробки можна використати двоступеневе настроювання [2], яке полягає в тому, що різальний інструмент попередньо налаштовується на розмір обробки поза верстатом, а вже після цього остаточно встановлюється на розмір обробки з використанням методу спробних заготовок. Згідно з [2] $\varepsilon_{н}$ можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{н} = 1,2\sqrt{\left(\varepsilon_{р}\right)^2 + \left(\varepsilon_{вм}\right)^2 + \left(\varepsilon_{зм}\right)^2}, \qquad (21)$$

де $\varepsilon_{зм} = \varepsilon_{п.д}/\sqrt{m}$ — похибка, зумовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання; m — кількість спробних заготовок.

Похибку $\varepsilon_{р}$ взято рівною паспортній точності позиціювання $\Delta_{п}$ робочих органів верстата TAJMAC-ZPS H500, яка складає 10 мкм. Похибку $\varepsilon_{вм}$, як і в першому варіанті, взято рівною 10 мкм (ціні поділки мікрометра). Величина похибка $\varepsilon_{зм}$ за $m = 5$ виявилась зовсім незначною (0,45 мкм) і тому нею знехтувано. Таким чином, розрахована за формулою (21) $\varepsilon_{н}$ склала 17 мкм.

Розмірний знос різального інструмента і, відповідно, похибка ε_{i} може бути компенсована введенням корекції положення фрези. Тому вважатимемо, що $\varepsilon_{i} = \Delta_{п} = 10$ мкм.

Похибку $\varepsilon_{в}$ для варіанта обробки на верстаті з ЧПК визначалась за формулою (17) за таких параметрів [1]: $C = 16$ мкм, $L_{б} = 400$ мкм. Величина $\varepsilon_{в}$ склала 4 мкм.

Похибка $\varepsilon_{т}$, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи, під час обробки на сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК зазвичай менша, ніж на верстатах з ручним керуванням завдяки використанню рясного охолодження оброблюваної заготовки у закритій робочій зоні верстата. З урахуванням цього $\varepsilon_{т}$ визначена за формулою (18), але коефіцієнт перед виразом в дужках зменшений з 0,15 до 0,1. Таким чином, величина $\varepsilon_{т}$ склала 5 мкм.

За формулою (3) визначено ε_{Σ} за таких значень коефіцієнтів: $t = 1$; $K_1 = K_2 = K_3 = 1$; $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$. Величина ε_{Σ} склала 33 мкм.

За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час фрезерування заготовки на верстаті з ручним керуванням (рис. 2) і на верстаті з ЧПК (рис. 3).

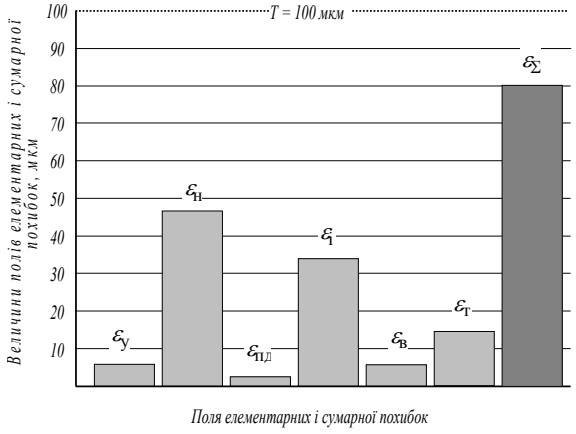

Рис. 2. Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час фрезерування заготовки на верстаті з ручним керуванням

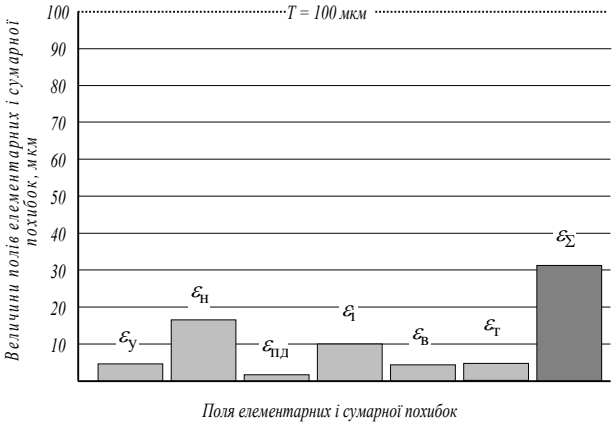

Рис. 3. Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час фрезерування заготовки на верстаті з ЧПК

Висновки

1. На прикладі обробки корпусної деталі на вертикально-фрезерному верстаті 6М13П і на багатоцільовому верстаті TAJMAC-ZPS H500 проведено порівняльний аналіз з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку остаточної фрезерної обробки партії заготовок.

2. Показано, що найсуттєвіший вплив на точність обробки на верстаті з ручним керуванням мають похибка настроєння і похибка, зумовлена розмірним зносом різального інструмента (торцевої фрези).

3. Обробка на верстаті з ЧПК забезпечує меншу сумарну похибку обробки завдяки, перш за все, зменшенню похибки настроєння. Похибка, зумовлена розмірним зносом різальної кромки зубів фрези, завдяки використанню програмованої корекції інструмента може бути зменшена до рівня похибки позиціювання робочого органу верстата.

4. Обробка на верстаті з ручним керуванням і обробка на верстаті з ЧПК забезпечують задану точність розміру $157h9(_{-0,1})$ мм. Але сумарна похибка обробки на верстаті з ЧПК виявилась помітно меншою у порівнянні з обробкою на верстаті з ручним керуванням (у 2,6 рази).

5. Результати роботи можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві та в навчальному процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильєв и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.

2. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.

3. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / В. С. Корсаков. — М. : Машиностроение, 1974. — 288 с.

4. Антонюк В. Е. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений / В. Е. Антонюк, В. А. Королев, С. М. Башеев. — Минск : Беларусь, 1969. 392 с.

5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. — Т. 2 / [Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Ч. 1 : навч. посіб. / О. В. Дерібо. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с

7. Маталин А. А. Технология машиностроения : учеб. для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

Рекомендована кафедрою технологій та автоматизації машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.10.2016

Дерібо Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Дусанюк Жанна Павлівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Кулик Аліна Федорівна — студентка факультету машинобудування та транспорту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Deribo[1]
Zh. P. Dusaniuk[1]
A. F. Kulyk[1]

Comparative Analysis of Exactness of Treatment on Machine-Tool with Hand Control and on Numerically Controlled Machine-Tool

[1]Vinnytsia National Technical University

There has been executed the comparative analysis of exactness of treatment on the example of the final milling of cabinet-type detail on a machine-tool with hand control and numerically controlled machine-tool. It allowed educing the level of

influence of elementary errors on exactness of treatment.

Keywords: tooling, exactness, final milling, machine-tool with hand control, numerically controlled machine-tool.

Deribo Oleksandr V. **—** Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation;
Dusaniuk Zhanna P. **—** Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation;
Kulyk Alina F. **—** Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport

А. В. Дерибо[1]
Ж. П. Дусанюк[1]
А. Ф. Кулик[1]

Сравнительный анализ точности обработки на станке с ручным управлением и на станке с числовым программным управлением

[1]Винницкий национальный технический университет

Выполнен сравнительный анализ точности обработки на примере чистового фрезерования плоскости заготовки корпусной детали на станке с ручным управлением и станке с числовым программным управлением. Это позволило выявить уровень влияния элементарных погрешностей на точность обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, точность, чистовое фрезерование, станок с ручным управлением, станок с числовым программным управлением.

Дерибо Александр Владимирович **—** канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий и автоматизации машиностроения;
Дусанюк Жанна Павловна **—** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;
Кулик Алина Федоровна **—** студент факультета машиностроения и транспорта