

УДК 658.5.012.1

DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-42-49

А.Н. Гречухин, В.В. Куц, А.В. Олещицкий

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ГИБРИДНОЙ КОМПОНОВКОЙ НА ПОГРЕШНОСТЬ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Решена задача параметрического синтеза оборудования для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой. Представлены результаты анализа влияния зазора подвижного соединения

устройства на величину погрешности формообразования.

Ключевые слова: аддитивные технологии, послойный синтез, формообразование, погрешность.

A.N. Grechukhin, V.V. Kuts, A.V. Oleshitsky

THEORETICAL INVESTIGATION OF UNITS GEOMETRICAL ACCURACY IMPACT OF PROCESSING EQUIPMENT WITH HYBRID LAYOUT UPON ADDITIVE SHAPING ERROR

The paper reports the solution of the parameter synthesis problem of equipment for additive shaping with hybrid layout. There are presented the analysis results of the impact of a moving joint gap in a device upon a value of a shaping error. The investigation re-

sults obtained will allow adjusting gaps in movable plant joints in a proper way to obtain an essential accuracy of additive shaping.

Key words: additive technologies, layer-by-layer synthesis, shaping, error.

Введение

Вопросам повышения точности аддитивных методов формообразования посвящено достаточное количество научных трудов [1-7]. В работах [12-17; 19; 20] авторами предложен способ повышения точности изделий, получаемых аддитивными методами, который заключается в обеспечении динамической пространственной ориентации конечного элемента формообразующей системы аддитивного оборудования; предложены механизмы обеспечения пространственной ориентации, которые базируются на применении мехатрон-

ных систем на базе механизмов параллельной, а также последовательной структуры. Применение таких устройств имеет значительные преимущества и очевидные недостатки [18]. Поэтому актуальной задачей повышения точности аддитивных методов формообразования является разработка устройств для аддитивного формообразования на базе механизмов параллельно-последовательной структуры (с гибридной компоновкой), сочетающих преимущества механизмов двух типов [19].

Разработка модели формообразующей системы оборудования для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой

В общем виде модель формообразующей системы (ФС) технологического оборудования, в том числе с гибридной компоновкой, может быть описана основным уравнением формообразования [9]:

$$\bar{r}_0 = \prod_{i=1}^l A_{i-1,i}^{k_i} \bar{r}_l,$$

где $A_{i-1,i}^{k_i}$ – матрица преобразования ФС; \bar{r}_l – векторное уравнение инструмента; k_i – код движения i -го звена ФС.

Тогда погрешность формообразования можно рассчитать, как

$$\Delta \bar{r}_0 = \sum_{i=0}^l \left(\prod_{j=0}^i A_{0,i}^{k_j} \right) \varepsilon_i \left(\prod_{j=1}^l A_{i,i+1}^{k_j} \right) \bar{r}_l, \quad (1)$$

где ε_i – матрица вариации системы координат i -го звена ФС.

В общем виде матрицу ε_i можно представить как сумму [9]

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{пов}_i} + \varepsilon_{\text{пер}_i}.$$

Здесь $\varepsilon_{\text{пов}_i}$ – матрица чистого поворота системы координат i -го звена ФС,

$$\varepsilon_{\text{пов}_i} = \begin{bmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & 0 \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & 0 \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – малые углы поворота системы координат i -го звена ФС вокруг соответствующих осей.

$\varepsilon_{\text{пер}_i}$ – матрица чистого смещения (перемещения) системы координат i -го звена ФС,

$$\varepsilon_{\text{пер}_i} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \delta_{x_i} \\ 0 & 0 & 0 & \delta_{y_i} \\ 0 & 0 & 0 & \delta_{z_i} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где $\delta_{x_i}, \delta_{y_i}, \delta_{z_i}$ – малые абсолютные смещения системы координат i -го звена ФС станка вдоль осей X, Y, Z соответственно.

В свою очередь, погрешность ФС (1) можно рассматривать в виде суммы

$$\Delta \bar{r}_0 = \Delta \bar{r}_{\text{ст}} + \Delta \bar{r}_{\text{кин}},$$

где $\Delta \bar{r}_{\text{ст}}$ – статическая составляющая погрешности формообразования, обусловленная геометрической погрешностью; $\Delta \bar{r}_{\text{кин}}$ – кинематическая составляющая погрешности формообразования.

Кинематическая составляющая погрешности формообразования была рассмотрена в [8; 17].

Решение задачи параметрического синтеза оборудования для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой

Особый интерес представляет задача параметрического синтеза установки с гибридной компоновкой, обусловленная наличием зазоров в подвижных соединениях (как составляющих статической погрешности формообразования). Решение

$$\bar{r}_0(u, v) = A_{32}^{-1} A_{21}^{-1}(q_1, \dots, q_4) A_{10}^{-1}(q_5) A_{0,j}^{-1}(u, v) \bar{e}_4 \quad (2)$$

и система геометрических связей между шарнирами установки

$$\begin{cases} L = |\bar{R}_1(q_1) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_1|; \\ L = |\bar{R}_2(q_1) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_2|; \\ L = |\bar{R}_3(q_2) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_3|; \\ L = |\bar{R}_4(q_3) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_4|; \\ L = |\bar{R}_5(q_4) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_5|; \\ L = |\bar{R}_6(q_4) - A_{21}(q_1, \dots, q_4) \bar{S}_6|, \end{cases}$$

где A_{32} – матрица, определяющая положение экструдера в системе координат основания; $A_{21}(q_1, \dots, q_4)$ – матрица, определяющая положение подвижной платформы экструдера в системе координат основания

этой задачи рассмотрим на примере установки для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой (рис. 1).

Модели ФС данной установки соответствуют основное уравнение формообразования

при заданных параметрах q_1, \dots, q_4 ; $A_{10}(q_5)$ – матрица, определяющая поворот стола с формируемой деталью на величину q_5 относительно его исходного положения; $A_{0,j}(u, v)$ – матрица перехода из системы

координат детали в систему координат точки формируемой поверхности с координатами (u, v) ; L – длины штанг; $\bar{R}_1(q_1), \bar{R}_2(q_1), \dots, \bar{R}_6(q_4)$ – векторы, определяющие положение подвижных шарниров в системе координат основания установки; q_1, \dots, q_4 – управляемые координаты

установки, определяющие положение шарниров по оси Z ; $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_6$ – векторы, задающие положение шарниров подвижной платформы в её собственной системе координат; \bar{e}_4 – вектор с нулевой длиной, $\bar{e}_4 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$.

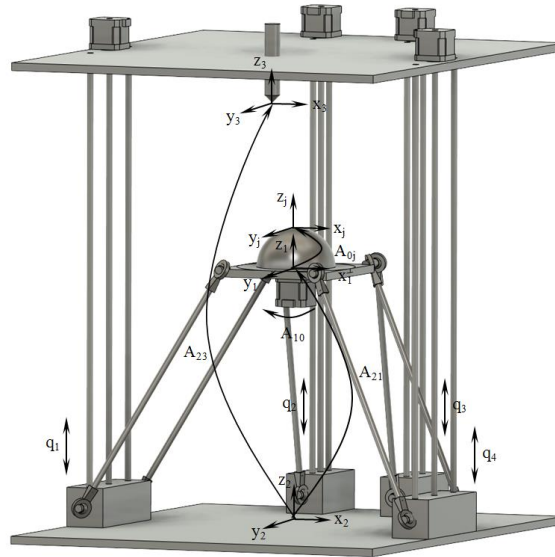


Рис. 1. Модель установки для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой

Одним из этапов вычисления погрешности оборудования является расчет погрешности каждого элемента ФС по отношению к соседнему элементу.

Исходя из (2) уравнение (1) для нашего случая примет вид

$$\Delta \bar{r}_0(u, v) = [A_{32}^{-1} \varepsilon_1 A_{21}^{-1}(q_1, \dots, q_4) A_{10}^{-1}(q_5)] A_{0,j}^{-1}(u, v) \bar{e}_4,$$

где ε_1 – матрица обобщенной погрешности для перехода из системы координат основания в систему координат подвижной платформы,

$$\varepsilon_1 = \begin{bmatrix} 0 & -\gamma_1 & \beta_1 & \delta_{x_1} \\ \gamma_1 & 0 & -\alpha_1 & \delta_{y_1} \\ -\beta_1 & \alpha_1 & 0 & \delta_{z_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

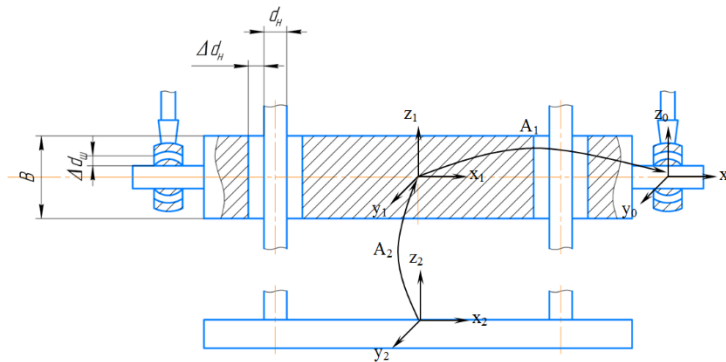


Рис. 2. Размерные связи элементов каретки A_2

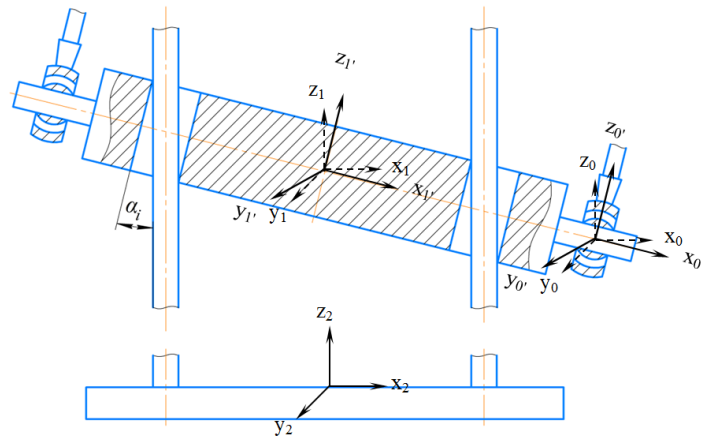


Рис. 3. Схема образования погрешности положения центров шарниров в системе координат основания установки

Исходя из схем, представленных на рис. 2 и 3, погрешность положения центров шарниров в системе координат основания установки можно представить в виде

$$\varepsilon_{R_1} = (A_2 \varepsilon_{1R_1} A_1 + A_2 A_1 \varepsilon_{2R_1}),$$

где ε_{1R_1} – матрица вариации шарнирной опоры (включая перемещение и погрешность от перекоса); A_1 – матрица перехода от системы координат каретки к системе координат шарнира; A_2 – матрица перехода от системы координат основания к системе координат каретки.

$$\varepsilon_{1R_1} = \begin{bmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta_{x_1 R_1} \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta_{y_1 R_1} \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где $\delta_{x_1 R_1} = \Delta d_n$; $\delta_{y_1 R_1} = \Delta d_n$ – малые величины смещения системы координат относительно оси $X_1 Y_1$.

ε_{2R_1} – матрица вариации шарнирной опоры (включая перемещение и погрешность от перекоса),

$$\varepsilon_{2R_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \delta_{x_2 R_1} \\ 0 & 0 & 0 & \delta_{y_2 R_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

где $\delta_{x_2 R_1} = \Delta d_n$; $\delta_{y_2 R_1} = \Delta d_n$ – малые величины смещения системы координат относительно оси $X_2 Y_2$.

Углы $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ найдем из уравнений:

$$\frac{d_n}{\cos \alpha_i} + B \operatorname{tg} \alpha_i = d_n + \Delta d_n;$$

$$\frac{d_n}{\cos \beta_i} + B \operatorname{tg} \beta_i = d_n + \Delta d_n;$$

$$\gamma_i = 2 \arcsin\left(\frac{d_n}{H}\right).$$

Аналогично может быть вычислена погрешность положения центров шарниров подвижной платформы в её собственной системе координат ε_{si} .

Составим систему геометрических связей с включенной в них погрешностью:

$$\begin{cases} L = [\bar{R}_1(q_1) + \varepsilon_{R_1} \bar{R}_1(q_1)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_1 + \varepsilon_{s_1} \bar{S}_1]; \\ L = [\bar{R}_2(q_1) + \varepsilon_{R_2} \bar{R}_2(q_1)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_2 + \varepsilon_{s_2} \bar{S}_2]; \\ L = [\bar{R}_3(q_2) + \varepsilon_{R_3} \bar{R}_3(q_2)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_3 + \varepsilon_{s_3} \bar{S}_3]; \\ L = [\bar{R}_4(q_3) + \varepsilon_{R_4} \bar{R}_4(q_3)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_4 + \varepsilon_{s_4} \bar{S}_4]; \\ L = [\bar{R}_5(q_4) + \varepsilon_{R_5} \bar{R}_5(q_4)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_5 + \varepsilon_{s_5} \bar{S}_5]; \\ L = [\bar{R}_6(q_4) + \varepsilon_{R_6} \bar{R}_6(q_4)] - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) [\bar{S}_6 + \varepsilon_{s_6} \bar{S}_6]; \end{cases} \quad (3)$$

где $A_{21}(q_1, \dots, q_4)$ – матрица, определяющая новое положение подвижной платформы при наличии погрешности центров шарниров.

$$A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) = A^{\{1\}}(x)A^{\{2\}}(y)A^{\{3\}}(z)A^{\{4\}}(\alpha)A^{\{5\}}(\beta)A^{\{6\}}(\gamma)$$

и решения системы (3) относительно параметров $x, y, z, \alpha_x, \beta_y, \gamma_z$.

$$\varepsilon_1 = [A_{21}(q_1, \dots, q_4) - A_{21}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)]A_{0j}(u, v)\bar{e}_4.$$

Абсолютную величину отклонения определим в виде проекции вектора $\Delta r_{\text{ст}}$ на вектор нормали к поверхности детали в точке $\bar{r}_0(u, v)$:

$$\Delta r_{\perp \text{ст}} = \Delta r_{\text{ст}} \cdot \bar{n}(u, v),$$

где $\bar{n}(u, v)$ – нормаль к поверхности детали.

$$\bar{n}(u, v) = A_{21}(q_1, \dots, q_4)A_{10}(q_5)A_{0j}(u, v)\bar{e}_3,$$

где \bar{e}_3 – орт, определяющий положительное направление оси Z системы координат точки на поверхности детали, $\bar{e}_3 = [0 \ 0 \ 1 \ 0]^T$.

Рассматривая различные сочетания отклонений в крайних точках $\pm \delta_{x1}, \pm \delta_{y1}$,

Матрицу $A_{21}(q_1, \dots, q_4)$ определим путем её замены на эквивалентную матрицу

Тогда отклонение точки детали от её номинального положения при заданных величинах погрешностей положения звеньев установки определим как

$\pm \delta_z, \pm \alpha_1, \pm \beta_1, \pm \gamma_1$, можно определить максимальную величину погрешности формообразования Δr .

Рассмотрим в качестве примера процесс формирования деталей типа полусферы с радиусом 75 мм, описываемой уравнением

$$\bar{r}_0(\theta, z) = \begin{bmatrix} \sqrt{R^2 - z^2} \cos(\theta) \\ \sqrt{R^2 - z^2} \sin(\theta) \\ z \\ 1 \end{bmatrix},$$

где θ, z – криволинейные координаты поверхности; R – радиус полусферы.

Результаты расчета погрешности формообразования механизма с гибридной компоновкой

При принятой длине штанг $L = 350$ мм в ходе расчета для величины зазора $\Delta d_{\text{н}} = 0,1$ мм были получены закономерности

изменения погрешности формообразования в зависимости от параметра полусферы z , представленные на рис. 4.

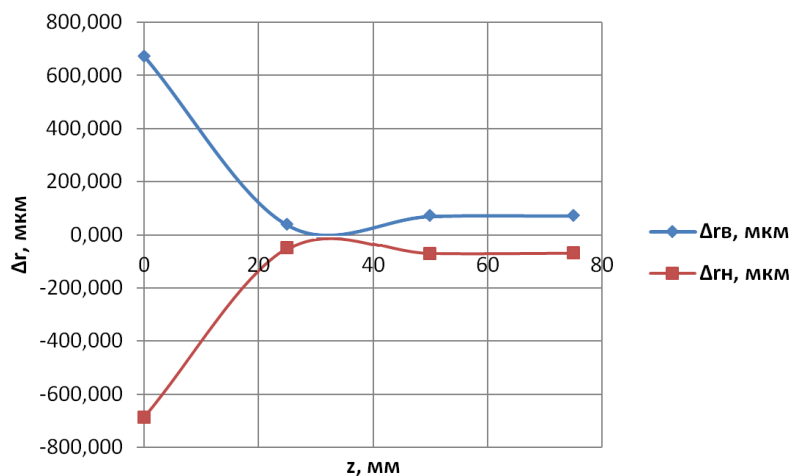


Рис. 4. Изменение погрешности формообразования полусферы в зависимости от параметра z : $\Delta r_{\text{в}}$ – верхний предел; $\Delta r_{\text{н}}$ – нижний предел

Можно сделать вывод, что самые большие отклонения появляются при параметре $z = 0$, когда подвижная платформа установки принимает положение, параллельное экструдеру. Соответственно даль-

нейший анализ отклонений целесообразно вести для параметра $z = 0$.

При $z = 0$ был выполнен расчет изменения погрешности формообразования для различных величин зазора Δd_n , результаты которого показаны на рис. 5.

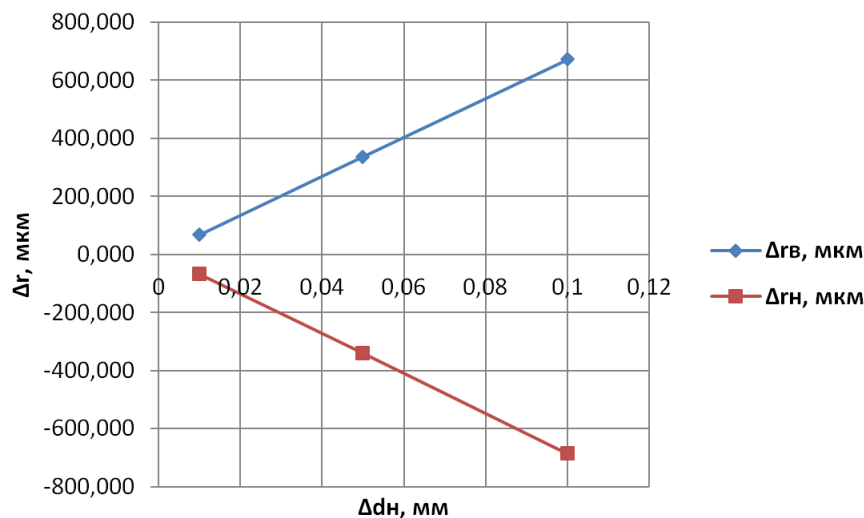


Рис. 5. Изменение погрешности формообразования полусферы для различных величин зазора Δd_n : Δr_v — верхний предел; Δr_n — нижний предел

Заключение

Анализируя полученные данные, можно скорректировать зазоры в подвижных соединениях установки таким обра-

зом, чтобы получить необходимую точность формообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых МК-6406.2018.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burns M. Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J., USA: PTR Prentice Hall, 1993. 369 p.
2. Сапрыкин А.А. Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении прототипов: дис. ... канд. техн. наук. Юрга, 2006.
3. Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Bychkova N.A. Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11, № 24. P. 11832-11835.
4. Доброскок В.Л., Абдурайимов Л.Н., Чернышов С.И. Рациональная ориентация изделий при их послойном формообразовании на базе исходной триангуляционной 3D-модели // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2010. № 24. С. 13-21.
5. Singhal S.K., Pandey A.P., Pandey P.M., Nagpal A.K. Optimum part deposition orientation in stereo-
6. lithography // Computer-Aided Design & Applications. 2005. Vol. 2, no. 1-4. P. 319-328.
7. Hong S., Byun, Kwan H., Lee. Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2006. № 28. P. 307-313.
8. Massod S.H., Rattanawong W., Iovenitti P. A generic algorithm for part orientation system for complex parts in rapid prototyping // J. Mater. Process. Technol. 2003. Vol. 139, № 1-3. P. 110-116.
9. Егоров И.Н. Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами: монография / М-во образования и науки РФ, Владимир. гос. ун-т. Владимир, 2010.
10. Куц В.В. Методология предпроектных исследований специализированных металлорежущих систем: дис. ... д-ра техн. наук. Курск, 2012. 366 с.
11. Гречишников В.А., Куц В.В., Разумов М.С. [и др.]. Определение погрешности формы детали при формообразовании планетарным механиз-

- мом методами геометрической теории резания // СТИН. 2017. № 4. С. 24-26.
11. Grechishnikov V.A., Romanov V.B., Pivkin P.M., Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Yurasov S.Y. Errors in shaping by a planetary mechanism // *Russian Engineering Research*. 2017. Т. 37, № 9. P. 824-826.
 12. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Управление пространственной ориентацией узлов робота в процессе аддитивного формообразования изделий // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2018. Т. 14, № 4. С. 122-129.
 13. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Экспериментальное определение параметров поперечного сечения единичного слоя при аддитивном формообразовании изделий // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. № 10. С. 264-270.
 14. Гречухин А.Н., Куц В.В., Олещицкий А.В., Симонова Ю.Э. Проектирование технологического оборудования для аддитивного формообразования с гибридной компоновкой // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2019. Т. 15, № 4. С. 111-118.
 15. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Решение задачи аппроксимации криволинейных поверхностей слоями с постоянным и переменным сечением при формообразовании аддитивными методами // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2019. № 3 (76). С. 38-40.
 16. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С., Ванин И.В. Динамическое управление процессом аддитивного формообразования с применением 5-координатного технологического оборудования // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2019. Т. 23, № 1. С. 9-20.
 17. Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 226, № 0100214.
 18. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 226, № 0100214.
 19. Grechukhin A.N., Kudelina D.V., Razumov M.S. Development of information-analytical system for technological requests monitoring, taking into account regional specifics // *International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering*. Т. 157. P. 198-202.
 20. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Calculation of the controlled parameters of the 6-coordinate robot in the process of additive forming of products // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 1210 (1), № 012053.
 1. Burns M. *Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing*. Englewood Cliffs, N.J., USA: PTR Prentice Hall, 1993. 369 p.
 2. Saprykin, A.A. Effectiveness increase in process of selective laser sintering during prototype manufacturing: *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree, Yugra*, 2006.
 3. Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Bychkova N.A. Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Т. 11, № 24. P. 11832-11835.
 4. Dobroskok, V.L., Abduraimov, L.N., Chernyshov, S.I. Efficient alignment of products at their layer-by-layer shaping based on 3D initial triangulation model // *Proceedings of Crimea Engineering-Pedagogical University*. 2010. No.24. pp. 13-21.
 5. Singhal S.K., Pandey A.P., Pandey P.M., Nagpal A.K. Optimum part deposition orientation in stereolithography // *Computer-Aided Design & Applications*. 2005. Vol. 2, no. 1-4. P. 319-328.
 6. Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing // *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 2006. № 28. P. 307-313.
 7. Massod S.H., Rattanawong W., Iovenitti P. A generic algorithm for part orientation system for complex parts in rapid prototyping // *J. Mater. Process. Technol*. 2003. Vol. 139, № 1-3. P. 110-116.
 8. Yegorov, I.N. Position-power control of robotic and mechatronics devices: monograph / *Ministry of Education and Science of the RF, Vladimir State University, Vladimir*, 2010.
 9. Kuts, V.V. Methodology for pre-design investigations of specialized metal cutting systems: *Thesis for Dr. Sc. Tech. Degree, Kursk*, 2012. – pp. 366.
 10. Grechishnikov, V.A. Kuts, V.V., Razumov, M.S. [et al.]. Error definition in parts form during shaping with planetary mechanism through methods of geometrical theory of cutting // *СТИН*. 2017. No.4. pp. 24-26.
 11. Grechishnikov V.A., Romanov V.B., Pivkin P.M., Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Yurasov S.Y. Errors in shaping by a planetary mechanism // *Russian Engineering Research*. 2017. Т. 37, № 9. P. 824-826.
 12. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S. Spatial orientation control of robot units during additive shaping of products // *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2018. Vol. 14, No.4. pp. 122-129.
 13. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S. Experimental definition of single layer cross-section parameters during additive shaping of products // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences*. 2018. No.10. pp. 264-270.

14. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Oleshitsky, A.V., Simonova, Yu.E. Design of engineering equipment for additive shaping with hybrid layout // *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2019. Vol. 15, No.4. pp. 111-118.
15. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S. Solution of approximation problem of curvilinear surfaces with layers with constant and alternative cross-section during shaping with additive methods // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2019. No.3 (76). Pp. 38-40.
16. Grechukhin, A.N., Kuts, V.V., Razumov, M.S., Vanin, I.V. Additive shaping dynamic control using 5-coordinate technological equipment // *Proceedings of South-Western State University*. 2019. Vol.23. No.1. pp. 9-20.
17. Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 226, № 0100214.
18. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 226, № 0100214.
19. Grechukhin A.N., Kudelina D.V., Razumov M.S. Development of information-analytical system for technological requests monitoring, taking into account regional specifics // *International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering*. T. 157. P. 198-202.
20. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Calculation of the controlled parameters of the 6-coordinate robot in the process of additive forming of products // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 1210 (1), № 012053.

Ссылка для цитирования:

Гречухин А.Н., Куц В.В., Олещицкий А.В. Теоретическое исследование влияния геометрической точности узлов технологического оборудования с гибридной компоновкой на погрешность аддитивного формообразования // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2019. № 12. С. 42–49. DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-42-49.

Статья поступила в редакцию 02.11.19.

Рецензент: д.т.н., профессор Воронежского государственного технического университета
Кириллов О.Н.

Статья принята к публикации 19. 12. 19.

Сведения об авторах:

Гречухин Александр Николаевич, доцент кафедры МТиО Юго-Западного государственного университета, e-mail: Agrechuhin@mail.ru.

Куц Вадим Васильевич, профессор кафедры МТиО Юго-Западного государственного университета, e-mail: Kuc-vadim@yandex.ru.

Grechukhin Alexander Nikolaevich, Assistant Prof. of the Dep. MT&O, South-Western State University, e-mail: Agrechuhin@mail.ru.

Kuts Vadim Vasilievich, Prof. of the Dep. MT&O, South-Western State University, e-mail: Kuc-vadim@yandex.ru.

Олещицкий Алексей Вячеславович, магистрант кафедры МТиО Юго-Западного государственного университета, e-mail: Oav46@yandex.ru.

Oleshitsky Alexey Vyacheslavovich, Master degree student of the Dep. MT&O, South-Western State University, e-mail: Oav46@yandex.ru.