



Зубкова Н. В.,
Третяк Т. Е.,
Гуцаленко Ю. Г.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЙ ОПЕРАТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА В МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛОСКИХ ОТСЕКОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассматривается применение плоских отсеков как модулей моделей инструментальных поверхностей. Выполнен морфологический выбор элементарных представителей, образуемых действием оператора параллельного переноса, результаты которого визуализированы, математически описаны и поддержаны примером проектного использования. Представленный комплекс геометрических модулей и их математических описаний предлагается к многоотраслевому использованию в системах автоматизированного проектирования с инструментальной составляющей, ориентированных на обслуживание формообразующих машиностроительных и других технологий.

Ключевые слова: инструментальная поверхность, моделирование, многопараметрические отображения, оператор параллельного переноса, плоский отсек, систематизация.

1. Введение

Инструменты и инструментальные поверхности, как и любые другие искусственные материальные реальности — это множество точек пространства, образованные по заданным алгоритмам в симбиозе человека и созданной им техники.

Важность адекватной рационализации моделирования в машиностроении наиболее высока для объектов, ответственных за массовое формообразование его продукции. Именно к таким объектам относятся изделия инструментального производства, в особенности, предназначенные для использования в механической обработке.

Актуализация системных унифицированных подходов к геометрическому моделированию возрастает с развитием автоматизированного проектирования и производства, обострением конкуренции в условиях глобализации во всех сферах деятельности современной цивилизации [1].

Харьковская научная школа физики резания в НТУ «ХПИ», в том числе в новейшей истории Украины, имеет обширный опыт разработки проф. Б. А. Перепелицей, его учениками и последователями [2, 3], а также в содружестве с научными школами НТУУ «КПИ» и ИСМ НАН Украины при германском и российском участии [4, 5], геометрического и алгоритмического обеспечения систем автоматизированного проектирования и производства на основе прикладного унифицированного развития теории многопараметрических отображений аффинного пространства.

Таким образом, содержание внешнего (актуальность) и внутреннего (подготовленность) аспектов вероятной эффективности исследования указывают на его целесообразность.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Практицизм теоретических разработок в области формального аналитического описания материально вос-

производимых виртуализаций объектов трехмерного пространства со сложным криволинейным профилем в нынешнем веке расширено стимулируется развитием технических возможностей метода послойного формообразования лазерным спеканием порошков (технологии RPTM, [6]), существенно сокращающих цикл материализации конструкторских проектов [7] и позволяющих производить в том числе изделия инструментальной номенклатуры вплоть до твердосплавных на вольфрамокарбидной основе, исключая только нитридборные и алмазные сверхтвердые [8].

Специфика лазерного формообразования в технологиях RPTM методически опирается на прикладные разработки метода конечных элементов, в первую очередь на триангуляционное моделирование твердотельных объектов, в котором описания криволинейных границ отличают известные приближения [7].

Обращение к аналитическим или точечным описаниям поверхности в рамках методологии многопараметрических отображений аффинного пространства позволяет выполнять точное моделирование [2]. Упростить точные модельные конструкции позволяет использование модульного принципа в их построении, в частности отсеков [9]. Большинство контактных задач формообразования в машиностроении сводится к взаимодействию плоских отсеков. В работе [10] их типизация с использованием оператора параллельного переноса охватывает 7 элементарных представителей. Опыт показывает, что применительно к плоским отсекам инструментальных поверхностей их число может быть сокращено до трех-четырёх. Этому посвящается представленная здесь работа.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — инструментальные поверхности.

Цель проведенных исследований — выделение и систематизация основных типичных элементарных плоских

отсеков инструментальных поверхностей, с помощью использования которых оператором параллельного переноса, возможно виртуально воспроизвести любую из них.

Достижение поставленной цели связано с решением следующих основных задач: во-первых, морфологическим выбором отсеков, отображаемым визуализацией результатов; во-вторых, их математическим описанием (аналитическим моделированием).

4. Математические описания и визуализации систематизации

В качестве объекта исследования в данной работе рассматриваются плоские отсеки инструментальных поверхностей, поскольку именно их профиль в плоскости формообразующего контакта, нормальной скорости формообразования, определяет его геометрический результат [2].

Известно, что как образы технологические отсеки могут содержать как естественные, так и искусственные границы [9]. В работе [10] приведены примеры образования плоских отсеков действием одного и того же унифицированного оператора параллельного переноса \bar{l} на один и тот же прообраз (кривую $y = f(x)$) при разном характере границ, и притом с неопределенным видом задания прообраза.

Для рассмотрения авторы данной работы выбрали обобщенный образ отсека, комбинация трех естественных границ которого, включая ограниченный двумя из них, параллельными оси y , отрезок линии-прообраза $y = f(x)$, и одной искусственной границы $y = A$ адекватно отображает рабочую (формообразующую) часть широкого множества инструментальных поверхностей, в том числе поверхностей вращения (рис. 1).

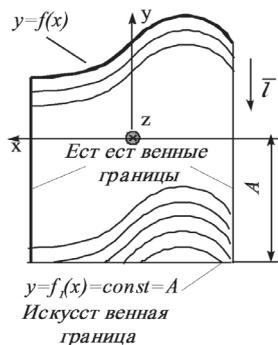


Рис. 1. Плоский отсек инструментальной поверхности с формообразующей кромкой $y = f(x)$ как естественной границей, образованный унифицированным оператором \bar{l}

Унифицированная структура математического отображения выбранного обобщения (рис. 1) в классической интерпретации по [2] будет следующей:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= \bar{r}_{\Pi} + \bar{l}; & x &= x; \\ m_r &= m_{r\Pi} + m_l; & y &= f(x) - l, \end{aligned} \quad (1)$$

где $m_{r\Pi} = \begin{pmatrix} x \\ f(x) \end{pmatrix}; m_l = \begin{pmatrix} 0 \\ -l \end{pmatrix}.$

Соответственно 2D-модели в определенной (заданной) системе интервалов значений параметров границ имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= \bar{r}_{\Pi} + \bar{l}; & x &= x; \\ m_r &= m_{r\Pi} + m_l; & y &= f(x) - l; \end{aligned} \quad \left| \begin{aligned} x_{\min} &\leq x \leq x_{\max}; \\ 0 &\leq l \leq f(x) + A. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Предлагаемая систематизация применений оператора параллельного переноса в моделировании плоских отсеков инструментальных поверхностей включает шесть основных элементарных типизаций формообразующего отрезка линии-прообраза по ее характеру. Это прямая (рис. 2, а), ломаная (рис. 2, б), выпуклая кривая (рис. 2, в) и кривая с перегибом (рис. 2, г).

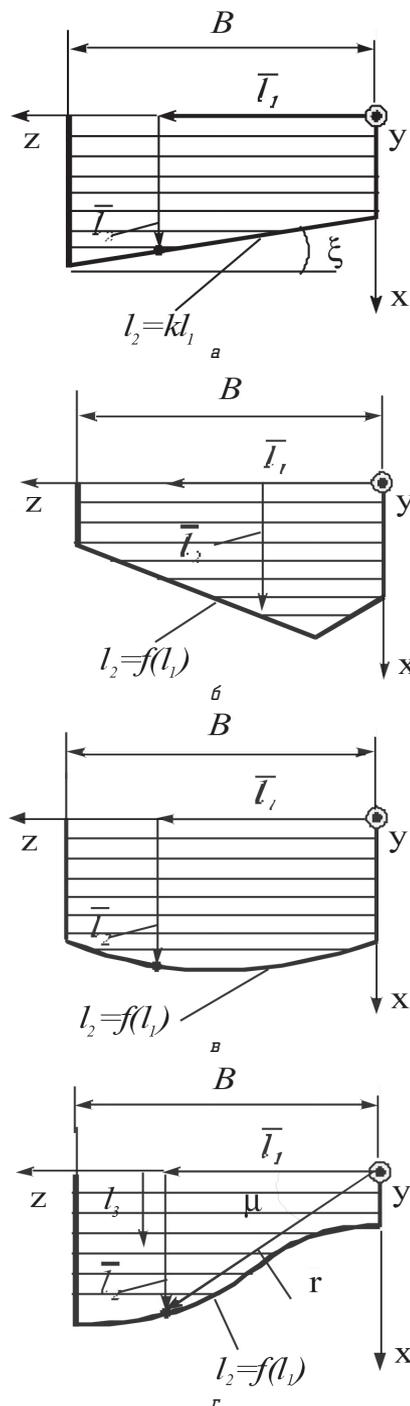


Рис. 2. Система плоских отсеков, образованных действием оператора параллельного переноса на отрезок прямой линии (окончание): а — прямая; б — ломаная; в — выпуклая кривая; г — кривая с перегибом

В типовых конкретизациях по рис. 2 при действии того же оператора параллельного переноса \bar{l} , что и в обобщении по рис. 1, прообразом принят отрезок l_1 на оси z . Соответственно, 2D-модель для отсеков по рис. 2 включает следующие описания:

для рис. 2, а:

$$\begin{cases} \bar{r} = \bar{l}_1 + \bar{l}_2; & x = l_2; & 0 \leq l_1 \leq B; \\ m_r = m_{l_1} + m_{l_2}; & y = 0; & 0 \leq l_2 \leq l_{2\max}. \\ & z = l_1; \end{cases} \quad (3)$$

для рис. 2, б-г:

$$\begin{cases} \bar{r} = \bar{l}_1 + \bar{l}_3; & x = l_3; & 0 \leq l_1 \leq B; \\ m_r = m_{l_1} + m_{l_3}; & y = 0; & 0 \leq l_3 \leq l_2; \\ & z = l_1 & l_2 = f(l_1). \end{cases} \quad (4)$$

Приведем пример моделирования с помощью унифицированной структуры отображений элементарного плоского отсека как типового аналога рабочей части семейства инструментальных поверхностей с ломаной линией в проекции на основную плоскость (токарные резцы, ножи-вставки сборных фрез и др.), как это схематизировано на рис. 3 и соответствует элементарной типизации по рис. 2, б. Моделирование осуществляется в плоскости zx (искусственная граница — ось z):

$$\begin{cases} \bar{r}_{отс} = \bar{r}_{лин} + \bar{l}_3; & x_{отс} = x_{лин} - l_3; & 0 \leq l_3 \leq x_{лин}, \\ m_{отс} = m_{лин} + m_{l_3}; & y_{отс} = 0; \\ & z_{отс} = z_{лин}; \end{cases} \quad (5)$$

Геометрическая модель плоского отсека

где $\bar{r}_{лин}$ — радиус-вектор точек линии-прообраза;

$$m_{l_3} = \begin{pmatrix} -l_3 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

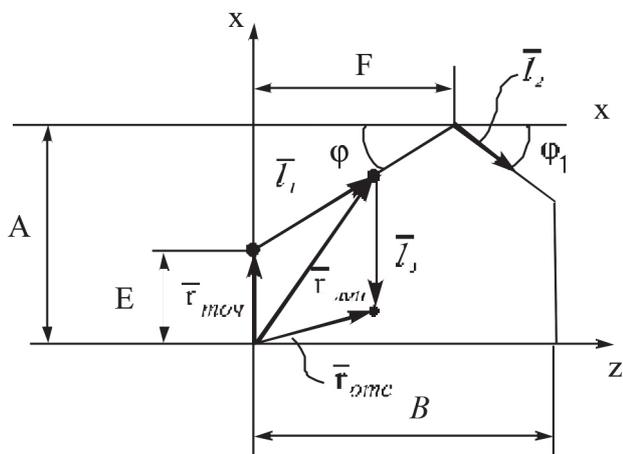


Рис. 3. Моделирование плоского отсека действием оператора параллельного переноса на отрезок ломаной линии

Если же прообраз плоского отсека задан набором отрезков разных кривых и описывается некоторой четко заданной, например точно, сложной функцией

$y = f(x)$, то он может быть описан и последовательной комбинацией элементарных типизаций, использующих унифицированные операторы и параметры отображений. Двухуровневая иерархическая система моделирования плоских отсеков инструментальных поверхностей с применением оператора параллельного переноса математически описана (1)–(4) и представлена на рис. 1 (верхний, обобщенный уровень) и рис. 2 (нижний, элементарный уровень).

5. Выводы

Предложена и представлена математически и иллюстративно система плоских отсеков, образованных действием оператора параллельного переноса на отрезок прямой линии и рассматриваемых как элементарные, для осуществления с их помощью моделирования объектов инструментального производства любой сложности, в том числе послойного и формообразующих кромок, от столярной стамески и строгального резца (рис. 2, а; $\xi = 0$) до профильных доводчиков в лопаточном производстве турбостроения (рис. 2, з).

Литература

- Bainbridge, W. S. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society [Text] / Ed. by W. S. Bainbridge, M. C. Roco. — Dordrecht, Netherlands: Springer, 2006. — 398 p. doi:10.1007/1-4020-4107-1
- Перепелица, Б. А. Отображения аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием [Текст] / Б. А. Перепелица. — Харьков: Вища школа, 1981. — 152 с.
- Gutsalenko, Yu. G. Tooling Design and Development of Shaping Technology of Bevel Gears of Double-Link Variators [Text] / Yu. G. Gutsalenko, A. L. Mironenko, T. E. Tretyak, N. V. Kravkova, N. V. Zubkova // XXV MicroCAD International Scientific Conference, 31st March — 1st April 2011. Section L: Production Engineering and Manufacturing Systems. — Miskolc: University of Miskolc, 2011. — P. 73–77.
- Перепелица, Б. А. Многопараметрические отображения пространства в теории формообразования зубчатых колес [Текст] / Б. А. Перепелица, П. Р. Родин, А. В. Кривошея, Ю. Г. Гуцаленко // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. — Вып. 71. — С. 103–106.
- Кривошея, А. В. К вопросу классификации кинематических схем и математических моделей формообразования зубчатых передач [Текст] / А. В. Кривошея, Ю. М. Данильченко, М. Г. Сторчак, Д. Т. Бабичев, В. Е. Мельник, В. И. Французов, Ю. Г. Гуцаленко, Т. Е. Третьак // Вісник НТУ «ХПИ». — 2014. — № 31. — С. 75–84.
- Jacobs, P. F. Stereolithography and other RP&M Technology from Rapid Prototyping to Rapid Tooling [Text] / P. F. Jacobs. — New York: ASME Press, 1996. — 392 p.
- Товажнянский, Л. Л. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления [Текст] / под ред. Л. Л. Товажнянского, А. И. Грабченко. — Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2005. — 224 с.
- Kushnarenko, O. Entscheidungsmethodik zur Anwendung generativer Verfahren für die Herstellung metallischer Endprodukte [Text]: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur / O. Kushnarenko // Berichte aus dem Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung — der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. — Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2009. — Band 14. — 167 p.
- Родин, П. Р. 3D-моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием [Текст] / под ред. П. Р. Родина. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. — 304 с.
- Зубкова, Н. В. Совершенствование 3D-моделирования режущих инструментов и элементов припуска путем унификации структур многопараметрических отображений пространства [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Н. В. Зубкова; НТУ «ХПИ». — Харьков, 2002. — 207 с.

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЗАСТОСУВАНЬ ОПЕРАТОРА ПАРАЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ В МОДЕЛЮВАННІ ПЛОСКИХ ВІДСІКІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ

Розглядається застосування плоских відсіків як модулів моделей інструментальних поверхонь. Виконано морфологічний вибір елементарних представників, котрі утворено дією оператора паралельного переміщення, результати якого візуалізовані, математично описані та підтримані прикладом проектного використання. Представлений комплекс геометричних модулів і їх математичних описів пропонується до багатогалузевого використання в системах автоматизованого проектування з інструментальною складовою, що орієнтовані на обслуговування формоутворюючих машинобудівних та інших технологій.

Ключові слова: інструментальна поверхня, моделювання, багатопараметричні відображення, оператор паралельного переміщення, плоский відсік, систематизація.

Зубкова Ніна Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій машиностроєння ім. М. Ф. Семко, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: zs_nina@mail.ru.

Третяк Тат'яна Євгенівна, старший преподаватель, кафедра інтегрованих технологій машиностроєння ім. М. Ф. Семко,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Гуцаленко Юрій Григорійович, старший научный сотрудник, кафедра интегрированных технологий машиностроения им. М. Ф. Семко, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина.

Зубкова Ніна Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Третяк Тет'яна Євгенівна, старший викладач, кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Гуцаленко Юрій Григорійович, старший науковий співробітник, кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Zubkova Nina, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: zs_nina@mail.ru.

Tretyak Tatyana, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Gutsalenko Yuriy, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

УДК 621

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51474

**Віштак І. В.,
Савуляк В. І.**

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ШПИНДЕЛІВ НА ПНЕВМАТИЧНИХ ОПОРАХ

Показано, що застосування шпинделів на пневматичних опорах з нанесеними на них канавками змінного профілю дозволяє підвищити жорсткість верстатів. Виявлено, що найбільший вплив має глибина канавок та закон її зміни. Це дозволяє покращити технологічні можливості системи. Розроблено методіку оптимального проектування шпинделів на пневматичних опорах з нанесеними канавками змінної глибини.

Ключові слова: шпиндель, пневматична опора, канавка змінної глибини, жорсткість, технологічна можливість.

1. Вступ

Успішне впровадження опор на газовому мащенні в різних сферах виробництва пояснюється якістьми газового мастильного матеріалу. Мінімальні втрати на тертя, а отже, й незначне тепловиділення, що є наслідком малої в'язкості газів, дозволяє досягти досить великих частот обертання. За рахунок відсутності перепадів сил тертя при відносному переміщенні вузлів, розділених мастильним газовим шаром, також є можливість забезпечити переміщення з мінімальною швидкістю ковзання. Опори з газовим мащенням, не втрачаючи своїх експлуатаційних якостей, можуть працювати в широкому діапазоні температур та тисків (в'язкість газів практично не залежить від температури та тиску), а також в зоні підвищеної радіації (гази не схильні до фазових змін). Крім того, у вузлах на опорах з газовим мащенням, що правильно розраховані та виготовлені, зношування

робочих поверхонь практично відсутнє. Газ, що виходить під підвищеним тиском із зазорів опор, не забруднює навколишнє середовище та оберігає робочі поверхні від потрапляння на них через мастильний шар пилу, абразиву тощо.

В сучасних прецизійних верстатах все більшого застосування набувають пневматичні опори, що забезпечують потрібну орієнтацію робочих поверхонь і чутливих елементів [1–3]. Тому до них висуваються додаткові вимоги, що впливають з умов експлуатації. В процесі обробки на шпиндель верстата діють сили різання, які викликають відносне зміщення вала. Значення сил різання безперервно змінюються, що впливає на точність обробки. Для зменшення цих похибок застосовуються пневматичні опори з підвищеною жорсткістю.

Таким чином, створення пневматичної опори з оптимізованими параметрами конструкції, що призначені для високошвидкісних верстатів підвищеної точності, яка