

ФОРМИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ НАПЛАВКИ МЕТАЛЛА НА СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д. И. Котляр, А. Н. Ломанов

*Кафедра «Вычислительные системы», dm.kotlyar@yandex.ru,
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П. А. Соловьева»,
Ярославская обл., Рыбинск, Россия*

Ключевые слова: аддитивные технологии; обработка данных; пятикоординатное формирование траектории; пятиосевой принтер; распараллеливание вычислений; распределенные вычисления; синтез управляющей программы; ускорение вычислений.

Аннотация: Рассмотрен алгоритм формирования траектории наплавки металла на сложнопрофильной криволинейной поверхности на оборудовании с пятью степенями свободы, позволяющего выполнять наплавку непрерывно с сохранением ориентации поверхности по нормали к экструдеру. Предложен подход, в котором криволинейная поверхность, описанная пятью координатами станка, сначала преобразуется в 3D-поверхность с векторами нормали в каждой точке, затем полученная поверхность упрощается до плоского представления. По плоскому представлению формируется траектория наплавки, которая затем подвергается процессу обратной трансформации сначала в 3D-представление, а затем в координаты станка. Приведены результаты работы алгоритма, показывающие работоспособность предложенного подхода. Применение распараллеливания и распределенных вычислений в процессе формирования траектории наплавки позволяет ускорить процесс до 4 раз на одном компьютере и пропорционально количеству используемых для вычисления компьютеров, поскольку процесс формирования траектории для каждого слоя независимый.

Введение

Инновационные возможности аддитивных технологий, применяемых в машиностроении, и в частности в области авиационного производства, позволяют решать сложные инженерные задачи, способствуют сокращению производственных циклов, повышению экономической эффективности, качества изготовления и гибкости разработки дизайна будущих компонентов и деталей.

Применение аддитивных технологий в сфере ремонта сложных деталей, таких как лопатки газотурбинных двигателей (ГТД), накладывает дополнительные требования на оборудование и программное обеспечение для автоматической подготовки ЧПУ-программ. Процесс ремонта деталей ГТД состоит из последовательных операций сканирования области интереса, формирования траектории наплавки и непосредственного осуществления наплавки на оборудовании для прямого нанесения металла.

Необходимость проведения данной работы обусловлена рядом факторов, наиболее важным из которых является отсутствие методов формирования траектории наплавки металла по заданной сложнопрофильной криволинейной поверхности. Современные программные решения по формированию траектории наплавки не решают проблему применения программ для создания пятиосевого процесса наплавки без привлечения инженера-программиста к созданию ЧПУ-программ для каждого отдельного случая.

Исследования, проведенные в ходе данной работы, позволят упростить рабочий процесс операторов установок, минимизировать человеческий фактор в процессе создания ЧПУ-программ.

Постановка задачи

Современные средства подготовки ЧПУ-программ для аддитивного производства общего и специального назначения, такие как Cura, ReplicatorG, Repetier, Slic3r и другие, позволяют создавать программы с заданными параметрами из 3D-модели.

Для формирования траектории наплавки такие программы принимают файл исходной 3D-геометрии детали, например, в формате STL или OBJ, делают сечения детали с шагом, равным толщине слоя, и по 2D-сечению формируют траекторию наплавки. Особенность и недостаток такого подхода – при формировании деталей таким способом нельзя изменить направление выращивания детали, построение новых слоев всегда идет вдоль оси Z. Такой способ формирования траектории упрощает процесс создания ЧПУ-программы, но при этом не учитывает следующие факторы:

- механическая прочность изделий в направлении поперек укладки нитей (слоев) ниже прочности вдоль укладки нитей [1, 2];
- увеличение угла нависания материала относительно предыдущего слоя или подложки приводит к отклонению реальной геометрии получаемого изделия от запроектированной [3];
- построение траектории вдоль одной оси не учитывает пространственное расположение элементов детали при проведении процесса ремонта детали, что может привести к столкновениям, и, как следствие, дополнительному повреждению как ремонтируемых деталей, так и выходу из строя оборудования.

Существуют решения для построения геометрии в 5D (применяется оборудование с пятью степенями свободы). Применение такого оборудования позволяет увеличить механическую прочность получаемых изделий в 3 – 5 раз [4], а также осуществлять построение без нависания материала над предыдущим слоем (подложкой слоя) или использования поддержек, что экономит материал и время на изготовление детали.

Принцип работы программного обеспечения для создания ЧПУ-программ с пятиосевой обработкой отличается тем, что для каждого нового слоя (незаполненного объема материала) выбирается секущая плоскость, позволяющая провести наплавку материала таким образом, что поверхность детали, на которую осуществляется наплавка, ставится максимально перпендикулярно экструдеру [5]. В остальном же процесс формирования детали ничем не отличается от классического алгоритма формирования в 3D. Недостаток такого подхода – дискретный процесс построения детали, при сложной геометрии наплавки будет большое число операций остановки процесса наплавки и смены базиса. Это ухудшает сплавляемость слоев, что негативно сказывается на прочностных характеристиках получаемого изделия.

Исходя из этого, требуется разработать алгоритм формирования траектории наплавки детали с пятиосевой обработкой, который позволит осуществлять наплавку непрерывно.

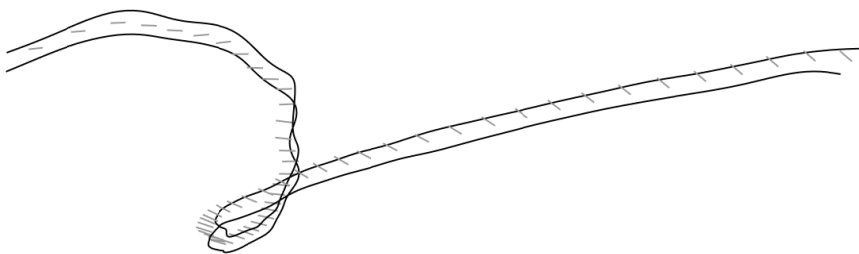


Рис. 1. Криволинейная поверхность для построения траектории наплавки
(черные линии – граница криволинейной поверхности,
серые отрезки – векторы нормалей поверхности в точке)

Алгоритм должен принимать на вход базовую поверхность, относительно которой будет происходить наплавка (рис. 1). Базовая поверхность описывается списком точек в 3D и вектором нормали в каждой точке. Выходными данными алгоритма должна быть траектория перемещения осей установки, описываемая точками в 3D и вектором нормали в каждой точке, также каждый отрезок траектории должен быть промаркирован типом перемещения: свободное перемещение, контур, штриховка.

Параметры формирования траектории наплавки: расширение контура на первом слое, мм; необходимо использовать штриховку, флаг; угол штриховки, град.; поворот угла штриховки при переходе на следующий слой, град.; максимальный угол между штрихами, при котором штрихи соединяются в линию, град.; расстояние между штрихами, мм; смещение штриха от начала, мм; смещение штриха при переходе на следующий слой, мм; число контуров; расстояние между контурами, мм; число слоев; угол при основании, град.; толщина слоя, мм.

Алгоритм

Для решения поставленной задачи предлагается следующий алгоритм формирования траектории наплавки.

Шаг 1: сложная криволинейная поверхность расправляется таким образом, что векторы нормалей каждой точки становятся сонаправлены, при этом сохраняется матрица трансформации каждой точки в обратную сторону.

Шаг 2: расправленная поверхность разглаживается до 2D-представления, дополнительно такая поверхность может быть распрямлена в прямую линию, при этом сохраняется матрица трансформации каждой точки в обратную сторону.

Шаг 3: вычисляется траектория наплавки в 2D-представлении.

Шаг 4: вычисляются матрицы трансформации и оригинальные векторы нормалей для каждой полученной точки траектории наплавки.

Шаг 5: выполняется операция обратного преобразования координат из 2D-представления в 3D.

Шаг 6: при обработке траектории наплавки на установке 3D координаты и вектор нормали точки преобразуются в положение осей установки с пятью степенями свободы.

Таким образом, предлагается достигнуть создания ЧПУ-программ с пятиосевой обработкой для формирования траектории наплавки металла на сложнопрофильной криволинейной поверхности.

Подготовительный этап

На подготовительном этапе формирования траектории наплавки вычисляется матрица трансформации координат точек и выполняется преобразование координат из 3D в 2D.

Алгоритм подготовки принимает на вход список точек, описывающих поверхность. Каждая точка содержит координаты в 3D и вектор нормали. Точки поверхности объединены в пары с общим вектором нормали.

Для каждой пары точек вычисляется центр в 3D как среднее арифметическое по координатам x, y, z . Вычисляется матрица трансформации для преобразования вектора нормали с предыдущего шага (предыдущей точки) к вектору нормали для текущего шага (текущей точки) по формулам (1) – (4):

$$\beta = \arctan\left(\frac{\text{normal}_x}{\text{normal}_y}\right) - \arctan\left(\frac{\text{ref_normal}_x}{\text{ref_normal}_y}\right); \quad (1)$$

$$\text{normal} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \text{normal}^T; \quad (2)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{\text{normal}_y}{\text{normal}_z}\right) - \arctan\left(\frac{\text{ref_normal}_y}{\text{ref_normal}_z}\right); \quad (3)$$

$$\text{transform_matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \text{ref_}p_x \\ 0 & 1 & 0 & \text{ref_}p_y \\ 0 & 0 & 1 & \text{ref_}p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\text{ref_}p_x \\ 0 & 1 & 0 & -\text{ref_}p_y \\ 0 & 0 & 1 & -\text{ref_}p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где normal , ref_normal – векторы нормали соответственно с предыдущего шага и на текущем шаге; $\text{ref_}p$ – точка, относительно которой применяются трансформации координат.

Вычисленная матрица применяется для всех ранее обработанных точек

$$\text{result_}tm_{k,j} = \text{transform_matrix} \cdot \text{result_}tm_{k-1,j}, \quad j \in [1, \dots, k], \quad (5)$$

где k – шаг обработки.

Для текущей точки операция трансформации координат не требуется, поэтому для нее записывается единичная матрица в качестве матрицы трансформации. После завершения обработки всех точек, вектор нормали будет совпадать с вектором нормали последней обработанной точки. Выполняется поворот результирующего вектора к единичному вектору нормали, направленному строго вверх: $[0, 0, 1]$. В результате выполнения данных операций будет получена поверхность, у которой все точки и их векторы нормалей ориентированы строго вверх (рис. 2).

Далее преобразованная поверхность разглаживается до 2D-представления по формулам (6) – (9). От текущей точки (центра пары точек) строится вектор до следующей точки (центра следующей пары точек) в преобразованных координатах

$$\text{dir} = \text{result_}tm_{j+1} \cdot p_{j+1} - \text{result_}tm_j \cdot p_j, \quad (6)$$

где j – номер текущей точки; p – координаты точки.

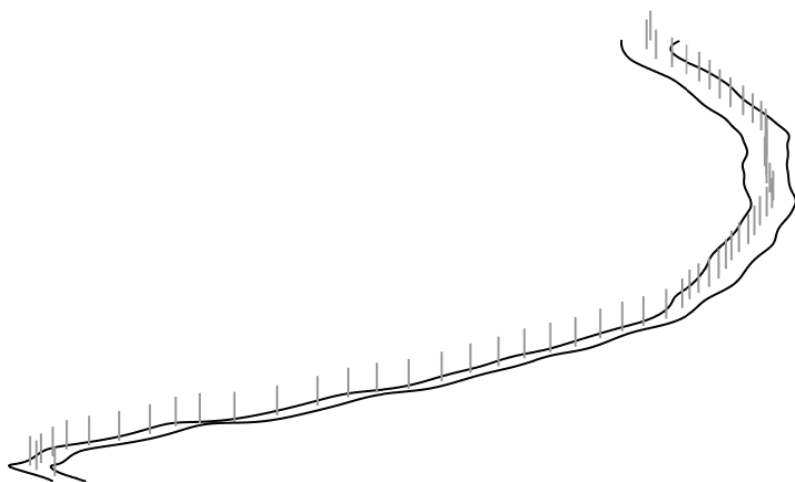


Рис. 2. Преобразованная поверхность

Вычисляется матрица поворота следующей точки относительно текущей таким образом, что вектор смещения примет вид $[1, 0, 0]$:

$$\Theta_j = -\arctan\left(\frac{\text{dir}_y}{\text{dir}_x}\right); \quad (7)$$

$$s_mat = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\Theta_j - \Theta_{j-1}) & -\sin(\Theta_j - \Theta_{j-1}) & 0 & 0 \\ \sin(\Theta_j - \Theta_{j-1}) & \cos(\Theta_j - \Theta_{j-1}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -p_x \\ 0 & 1 & 0 & -p_y \\ 0 & 0 & 1 & -p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$\text{result_rotate}_j = \text{result_rotate}_{j-1} \cdot s_mat. \quad (9)$$

Общий угол направления фигуры задается параметром Θ_0 , для достижения направления вдоль оси X он принимается равным 0.

Таким образом, итоговая матрица трансформации вычисляется по формуле

$$\text{result_transform_mat}_j = \text{result_rotate}_j \cdot \text{result_tm}_j. \quad (10)$$

Применяя данную матрицу к соответствующей точке, получим прямую поверхность, которую можно использовать как плоскость для дальнейшей обработки (рис. 3).

Формирование траектории штриховки в 2D

Дальнейшее вычисление траектории наплавки вычисляется в 2D-проекции, поскольку используется параметрический способ задания фигуры. На вход алгоритму формирования траектории подается замкнутая поверхность, которая описывается точками

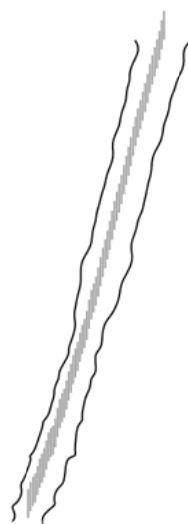


Рис. 3. Преобразованная и спрямленная поверхности

контура и ребрами со следующими параметрами: координаты точки X , Y ; высота точки (координата Z); матрица обратного преобразования точки в 3D; вектор нормали точки.

Для построения траектории наплавки в 2D используется только информация о пространственном положении точки в координатах X , Y . Переданная замкнутая поверхность вписывается в прямоугольник (рис. 4, *a*). Из нулевой точки прямоугольника строится базовая линия с заданным углом наклона штриховки (рис. 4, *б*). Базовая линия копируется по всей площади прямоугольника с заданным шагом между линиями (рис. 4, *в*). Вычисляются точки пересечения контура фигуры со сгенерированными линиями, линии режутся в данных точках на отрезки. Выбираются только те отрезки, которые лежат внутри замкнутой фигуры (рис. 4, *г*). По очереди выбираются отрезки (ломаные линии) и строится перемычка до соседнего отрезка. Если перемычка не пересекает фигуру (с определенным допуском) и ее длина меньше заданного порогового значения, то найденный отрезок вместе с перемычкой добавляется к текущей ломаной линии. Если условие не выполняется, то текущая ломаная линия сохраняется в памяти, а последний найденный отрезок начинает новую ломаную линию (рис. 4, *д*). Когда все отрезки обработаны, начиная с базовой точки, сортируются ломаные линии по длине наименьшего пробега и объединяются в траекторию наплавки (рис. 4, *е*).

На рисунках 4, *д*, *е* толстой линией показана траектория наплавки с включенной подачей материала, пунктирной линией показана траектория свободного перемещения экструдера установки, стрелками дополнительно отображено направление движения экструдера. При необходимости в качестве траектории наплавки может выступать сам контур и его сжатые копии, а внутренняя заливка осуществляется по меньшей площади. Между контурами и внутренней заливкой также добавляются маршруты свободного перемещения экструдера. Полученное плоское представление траектории наплавки накладывается на карту ребер (если такие были переданы), линии траектории разбиваются в местах пересечения ребер на отрезки.

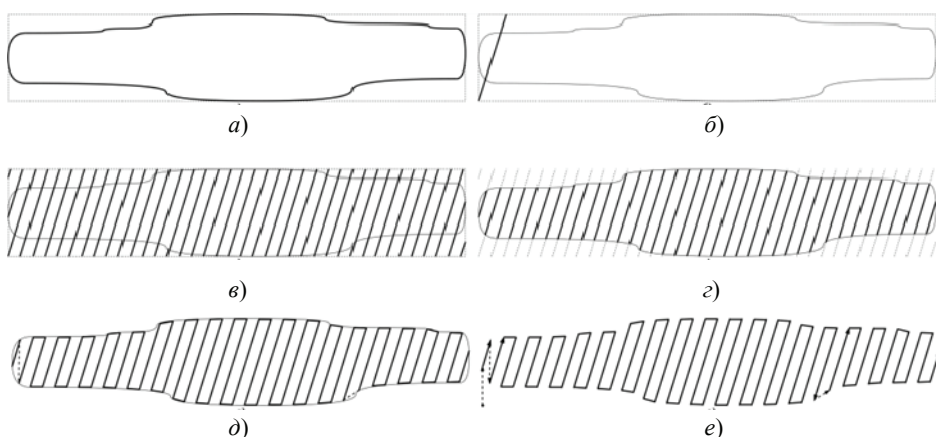


Рис. 4. Алгоритм формирования траектории штриховки в 2D:

- a* – контур фигуры; *б* – формирование базовой линии штриховки;
- в* – заполнение области штриховки шаблоном;
- г* – отсечение линий за пределами фигуры;
- д* – соединение штрихов в замкнутую траекторию;
- е* – результат формирования траектории штриховки

В каждой точке траектории наплавки вычисляются параметры: высота точки (координата Z); матрица обратного преобразования точки в 3D; вектор нормали точки.

Если точка траектории наплавки совпадает с вершиной контура или ребра, то значение данных параметров копируется из этой вершины. Если точка лежит на отрезке контура или ребра, то вычисляется как взвешенное среднее арифметическое

$$P = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot \frac{|v_0 - r|}{|v_0 - v_1|}, \quad (11)$$

где P_0, P_1 – матрица всех параметров вершин 1, 2; v_0, v_1 – координаты вершин (в 2D) 1, 2; r – координаты точки (в 2D).

Если точка не лежит на отрезке контура или ребра, то строится такая вспомогательная линия, которая сонаправлена с базовой линией (см. рис. 4, б) и пересекает контур или ребро. В точках пересечения определяются параметры по формуле (11), затем для искомой точки определяются параметры по вершинам построенной вспомогательной линии.

Для формирования траектории наплавки на следующем слое все точки контура и ребер поднимаются на высоту слоя (по координате Z), при необходимости контур сужается или расширяется в соответствии с заданными параметрами. Процесс формирования траектории наплавки повторяется. Все сформированные слои затем объединяются в единую траекторию наплавки металла.

Распределенная обработка

Традиционно технологии формирования траектории, используемые для 3D-печати, занимают много времени на подготовку модели к печати. Используя потенциал технологии распределенных вычислений и облачных платформ, может быть создан алгоритм распределенного формирования траектории, который повысит скорость обработки модели. Авторы статьи [6] провели эксперименты по созданию алгоритма распределенного слайсинга (формирования траектории). В ходе выполнения научно-исследовательской работы исследовали эффективность распределенных вычислений на 25 3D-моделях, в результате достигли повышение эффективности распределенных вычислений до 2,25 раз.

Результаты данной работы показывают, что распределенные алгоритмы формирования траектории могут решить проблему долгой подготовки моделей к 3D-печати. В статье не приведен анализ, сколько времени занимает каждый этап слайсинга 3D-модели. Таких этапов несколько: 1) построение сечения 3D-модели на высоте слоя; 2) расчет траектории движения экструдера на слое; 3) склейка траекторий в один маршрут. К тому же слои модели в общем случае зависят друг от друга, если используются поддержки.

Поскольку в задаче формирования траектории наплавки металла на сложно-профильной криволинейной поверхности отсутствует этап построения сечения, все слои имеют одинаковый «плоский» контур на входе, также по этой причине отсутствует необходимость добавлять поддержки, то итоговый прирост производительности в данной задаче при использовании распределенных вычислений будет близок к степени распараллеливания задачи.

При вычислении на одном компьютере с логическими ядрами наблюдался прирост производительности в 4 раза.

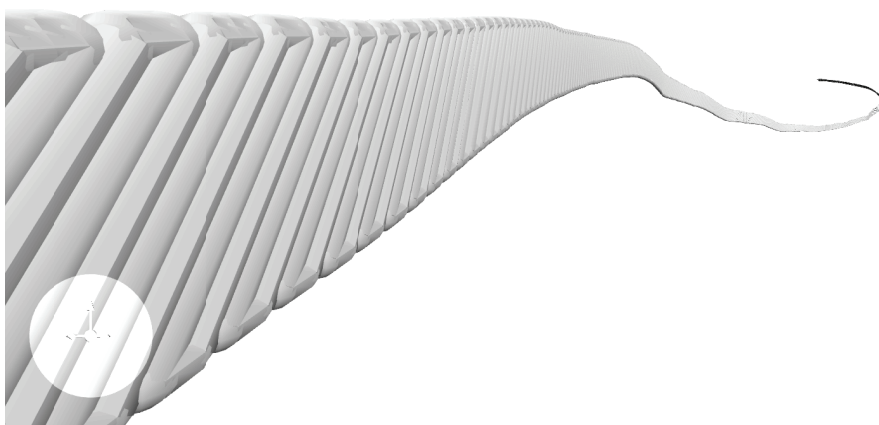


Рис. 5. Итоговая траектория наплавки в 3D

Завершающий этап

При завершении формирования траектории наплавки металла на сложно-профильной криволинейной поверхности полученная траектория с этапа формирования в 2D вместе с набором параметров каждой точки поступает на вход алгоритма пост-обработки.

Алгоритм применяет операции обратной трансформации координат:

$$p_j = \text{result_transform_mat}_j^{-1} \begin{bmatrix} r_{j,x} \\ r_{j,y} \\ P_{j,z} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Таким образом, для каждой точки вычисляются координаты в 3D, вектор нормали точки известен из матрицы параметров. Полученные точки затем могут быть переданы в алгоритм создания ЧПУ-программы или отображены на визуализации (рис. 5).

Заключение

В ходе выполнения научно-исследовательской работы проведен патентно-информационный поиск исследовательских работ и программного обеспечения в области создания ЧПУ-программ наплавки металла для криволинейной поверхности для пятиосевой обработки. Проведенный патентно-информационный поиск показал, что для заданной задачи отсутствуют методы формирования траектории наплавки.

В результате выполнения научно-исследовательской работы предложен и разработан алгоритм, который по заданной криволинейной поверхности и заданным параметрам выращивания наплавляемого материала формирует траекторию наплавки для пятиосевой обработки. Выходными данными алгоритма является замкнутая траектория, задаваемая точками в 3D и вектором нормали в каждой точке. Полученные точки затем могут быть переданы в алгоритм создания ЧПУ-программы.

Недостаток предложенного алгоритма – ограниченная возможность формирования наплавляемого объема материала. В дальнейших работах планируется доработать алгоритм таким образом, чтобы повысить гибкость в формировании фигуры для наплавки материала.

Список литературы

1. Судан, А. Технологические методы управления деформационно-прочностными характеристиками полимерных изделий, полученных методом FDM-печати / А. Судан, Е. Т. Воропаева // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 74 – 81.
2. Камоничкина, Н. В. Исследование прочностных характеристик модельного материала, получаемого методом FDM-печати с использованием АБС-пластика. – Текст электрон. / Н. В. Камоничкина, И. В. Кочешков // Всерос. науч.-техн. конф. студентов. – URL : https://studvesna.ru/db_files//articles/2136/thesis.pdf (дата обращения : 23.01.2023).
3. Wang, X. Overhang Structure and Accuracy in Laser Engineered Net Shaping of Fe–Cr Steel / X. Wang // Optics & Laser Technology. – 2018. – No. 106. – P. 357 – 365. doi: 10.1016/j.optlastec.2018.04.015
4. Haleem, A. 5D Printing and Its Expected Applications in Orthopaedics / A. Haleem, M. Javaid, R. Vaishya // Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma. – 2018. – V. 10, No. 4. – P. 809–810. doi: 10.1016/j.jcot.2018.11.014
5. Андреев, А. Е. Переработка алгоритма и программной реализации прототипа дискретного слайсера / А. Е. Андреев, А. В. Дроботов, И. А. Коптелова [и др.] // Инженерный вестник Дона – 2020. – № 12(72). – С. 313 –323.
6. Jianzhuo, Y. Research on Distributed 3D Printing Model Slicing System Based on Cloud Platform / Y. Jianzhuo, L. Zhongqi, // Fourteenth National Conference on Laser Technology and Optoelectronics (LTO 2019). – 2019. – No. 11170. doi: 10.1117/12.2533775

The Formation of a Metal Surface Trajectory on a Complex Profile Curvilinear Surface

D. I. Kotlyar, A. N. Lomanov

*Department of Computer Systems, dm.kotlyar@yandex.ru,
Rybinsk State Aviation Technical University named after P. A. Solovyov,
Yaroslavl region, Rybinsk, Russia*

Keywords: additive technologies; data processing; five-coordinate trajectory formation; five-axis printer; parallelization of calculations; distributed computing; synthesis of the control program; acceleration of calculations.

Abstract: An algorithm for the formation of a trajectory of metal surfacing on a complex curved surface on equipment with five degrees of freedom, which allows surfacing to be performed continuously while maintaining the surface orientation along the normal to the extruder, is considered. An approach is proposed in which a curved surface described by five machine coordinates is first converted into a 3D surface with normal vectors at each point, then the resulting surface is simplified to a flat representation. A surfacing trajectory is formed from a flat representation, which is then subjected to a reverse transformation process, first into a 3D representation, and then into machine coordinates. The results of the algorithm operation are presented, which show the efficiency of the proposed approach. The use of parallelization and distributed computing in the process of forming a surfacing trajectory makes it possible to speed up

the process up to 4 times on one computer and is proportional to the number of computers used for calculation, since the process of forming a trajectory for each layer is independent.

References

1. Sudan A., Voropaeva E.T. [Technological methods of controlling the deformation-strength characteristics of polymer products obtained by FDM-printing], *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly* [Bulletin of the Grodno State University named after Yanka Kupala], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 74-81. (In Russ., abstract in Eng.).
2. Kamonichkina N.V., Kocheshkov I.V. [Study of the strength characteristics of a model material obtained by FDM printing using ABS plastic], *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya studentov* [All-Russian scientific and technical conference of students], available at: https://studvesna.ru/db_files/articles/2136/thesis.pdf (accessed 23 January 2023). (In Russ.).
3. Wang X. Overhang structure and accuracy in laser engineered net shaping of Fe-Cr steel, *Optics & Laser Technology*, 2018, no. 106, pp. 357-365. doi: 10.1016/j.optlastec.2018.04.015
4. Haleem A., Javaid M., Vaishya R. 5D printing and its expected applications in Orthopaedics, *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 809-810. doi: 10.1016/j.jcot.2018.11.014
5. Andreev A.E., Drobotov A.V., Koptelova I.A., Gushchin I.A., Kizilov V.G., Skripnikov N.A. [Reworking the algorithm and software implementation of the discrete slicer prototype], *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2020, no. 12 (72), pp. 313-323. (In Russ., abstract in Eng.).
6. Jianzhuo Y., Zhongqi L. Research on distributed 3D printing model slicing system based on cloud platform, *14th National Conference on Laser Technology and Optoelectronics (LTO 2019)*, 2019, no. 11170. doi: 10.1117/12.2533775

Bahnbildung bei der Metallbeschichtung auf einer komplex gekrümmten Oberfläche

Zusammenfassung: Es ist ein Algorithmus zur Bildung einer Metallschmelzbahn auf einer komplex gekrümmten Oberfläche auf Geräten mit fünf Freiheitsgraden betrachtet, der eine kontinuierliche Durchführung der Oberflächenbearbeitung unter Beibehaltung der Oberflächenorientierung entlang der Normalen zum Extruder ermöglicht. Es ist ein Ansatz vorgeschlagen, bei dem eine durch fünf Maschinenkoordinaten beschriebene gekrümmte Oberfläche zunächst in eine 3D-Oberfläche mit Normalvektoren an jedem Punkt umgewandelt wird und die resultierende Oberfläche dann zu einer flachen Darstellung vereinfacht wird. Eine Oberflächenbahn wird nach einer flachen Darstellung gebildet, die dann einem umgekehrten Transformationsprozess unterzogen wird, zunächst in eine 3D-Darstellung und dann in Maschinenkoordinaten. Es sind die Ergebnisse der Algorithmusoperation vorgestellt, die die Effizienz des vorgeschlagenen Ansatzes zeigen. Der Einsatz von Parallelisierung und verteiltem Rechnen bei der Bildung einer Oberflächenbahn ermöglicht eine bis zu vierfache Beschleunigung des Prozesses auf einem Computer und ist proportional zur Anzahl der für die Berechnung verwendeten Computer, da der Prozess der Bildung einer Flugbahn für jede Schicht unabhängig ist.

Formation d'une trajectoire de surfaçage métallique sur une surface courbe à profil complexe

Résumé: Est examiné l'algorithme de formation d'une trajectoire de surfaçage métallique sur une surface curviligne à profil complexe sur un équipement à cinq degrés de liberté ce qui permet d'effectuer le surfaçage en continu tout en maintenant l'orientation normale de la surface par rapport à l'extrudeuse. Est proposée une approche selon laquelle la surface courbe décrite par les cinq coordonnées de la machine est d'abord transformée en une surface 3D avec des vecteurs normaux à chaque point, puis la surface résultante est simplifiée en une représentation plane. Une trajectoire de surfaçage est formée à partir d'une représentation plane, qui est ensuite transformée en une représentation 3D, puis en coordonnées de la machine. Sont cités les résultats de l'algorithme, qui montrent l'efficacité de l'approche proposée. L'utilisation de la parallélisation et du calcul distribué dans le processus de formation de trajectoire de surfaçage permet d'accélérer le processus jusqu'à 4 fois sur un seul ordinateur et proportionnellement au nombre d'ordinateurs utilisés pour le calcul, car le processus de formation de trajectoire pour chaque couche est indépendant.

Авторы: *Котляр Дмитрий Игоревич* – аспирант кафедры «Вычислительные системы»; *Ломанов Алексей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительные системы», ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», Ярославская обл., Рыбинск, Россия.
