Е.Д. Булатов, С.А. Гридин, А.А. Даниленко

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОСКОЙ ОПТИКИ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА СЕРИЙНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Изготовление элементов плоской оптики, работающей в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне, может производится на типовых станках с ЧПУ, применяемых в машиностроении. Круглые элементы сравнительно просто могут быть изготовлены на токарных станках, а цилиндрические - на фрезерных. Элементы более сложной конфигурации могут быть изготовлены на фрезерных станках с хорошей механизацией стола (5-6 степеней свободы).

В машиностроении перемещение инструмента относительно детали от исходной точки обработки до ее конечной точки может осуществляться тремя способами.

1. Для простейших систем поочередно по каждой из координат, например, сначала по оси z, а затем по оси x.

2. Линейно, от начальной точки до конечной по прямой.

3. По дуге круга, с заданными в программе параметрами.

Перемещение инструмента в токарном станке или детали на фрезерном станке осуществляется с помощью шаговых двигателей. Один шаг этих двигателей определяет величину дискреты координатной сетки, в узлах которой может находиться в статическом состоянии условный точечный инструмент. Дискрета определяет точность, гарантированную изготовителем станка. В случае линейной или круговой интерполяции траектория инструмента проходит по ближайшим к заданной траектории узлам координатной сетки, разбиваясь как бы на элементарные участки. Для каждого элементарного участка закон перехода от начальной к конечной координатам определяется постоянной времени привода по каждой из осей и при одновременном переходе по нескольким осям может отличаться от прямой, сохраняя однако при этом монотонность.

Дискрета координатной сетки типовых для настоящего времени стан-

ков составляет 5-10 мкм. Рекламируются станки с дискретой 1 мкм.

Поверхность элементов плоской оптики чаще всего не может быть представлена в виде прямых или друг окружностей, поэтому при программировании движения инструмента относительно изделия по сложной траектории применяется линейно-кусочная аппроксимация с учетом допустимых погрешностей.

В дальнейшем мы всегда рассматриваем движение резца относительно неподвижной заготовки, хотя в действительности при работе на станках с ЧПУ возможен противоположный вариант. Данная условность принимается, как правило, для простоты изложения.

Следует различать погрешность, определяемую дискретностью координатной сетки станка, и погрешность, заранее сознательно допущенную в расчетах как несущественную для работы элемента. Ограничение на точность изготовления элемента значительно сокращает управляющую программу и ускоряет время его обработки.

Чистота поверхности определяется профилем инструмента и величиной интервала между двумя соседними траекториями. Профиль инструмента определяется наиболее крутым наклоном между соседними траекториями. При работе с токарным станком интервал между двумя соседними траекториями определяется подачей на один оборот и может быть взят достаточно малым. При работе с фрезерным станком каждый новый проход инструмента по обрабатываемой поверхности формируется несколькими командами станку, каждая из которых представляется на управляющей ленте одним кадром и при малом интервале между соседними проходами необходима очень длинная управляющая программа.

При подготовке управляющей программы для изготовления элементов плоской оптики на токарном станке использовался следующий алгоритм.

1. Вычислялось точное значение координат профиля элемента в соответствии с заданным уравнением.

2. Строилась некоторая трубка вокруг вычисленного профиля элемента с радиусом, равным предельному допуску (рис. 1).

3. Начиная от нулевой точки вычислялась координата текущей точки, лежащей на профиле элемента так, чтобы прямая, соединяющая текущую точку с начальной, не выходила за пределы трубки допуска и при этом текущая точка была бы максимально удалена от начальной точки.

4. Формировалась команда для станка на прохождение инструментом пути от начальной до текущей точки. Команда помещалась в специальный файл.

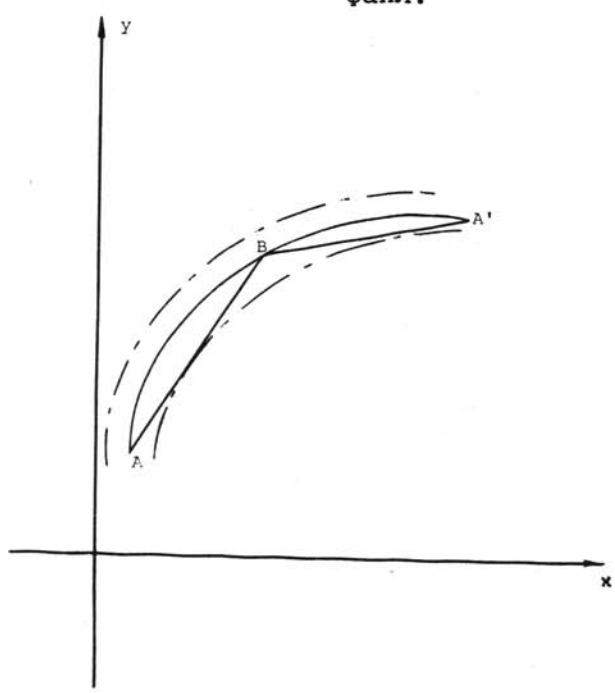

Рис. 1

5. Значение координаты текущей точки присваивалось начальной точке, и процедура повторялась до окончания профиля элемента.

6. Перфорировалось содержимое файла как уже готовая управляющая программа.

При изготовлении элемента на станке управляющая программа пропускалась несколько раз с целью соблюдения технологических норм резания (толщина стружки, число оборотов, подача).

Цилиндрическая линза, имеющая сложный профиль, в нашем случае была изготовлена на консольно-фрезерном станке НЦ-470 производства ГДР. Для данного станка характерно одновременное перемещение только по одной из трех координат. Минимальное расстояние, которое может отработать станок, равно 0,01 мм. Проблемы в изготовлении линзы стали возникать с первых шагов. Первая сложность, с которой столкнулись, заключалась в выборе режущего инструмента. На рис. 2а показан участок линзы, вызвавший наибольшие трудности при изготовлении на консольно-фрезерном станке с ЧПУ. Если в качестве режущего инструмента использовать фрезу с минимально возможным диаметром, то в этом случае оставался невыбранным участок В и обработка данного участка представляла бы задачу более сложную, чем первоначальная. Поэтому в качестве режущего инструмента было предложено использовать резец, имеющий определенный, заранее рассчитанный профиль, а консольно-фрезерный станок использовать как строгальный (рис. 2б).

Использование консольно-фрезерного станка в качестве строгального подразумевает, что резец находится в строго фиксированном положении, т.е. работа станка производится с заторможенным шпинделем. Однако такой режим работы возможен лишь при быстрой подаче. При отсутствии этого ограничения задача решалась бы простым заданием в управляющей программе координат, определяющих перемещения по осям x, y, z. Быстрая

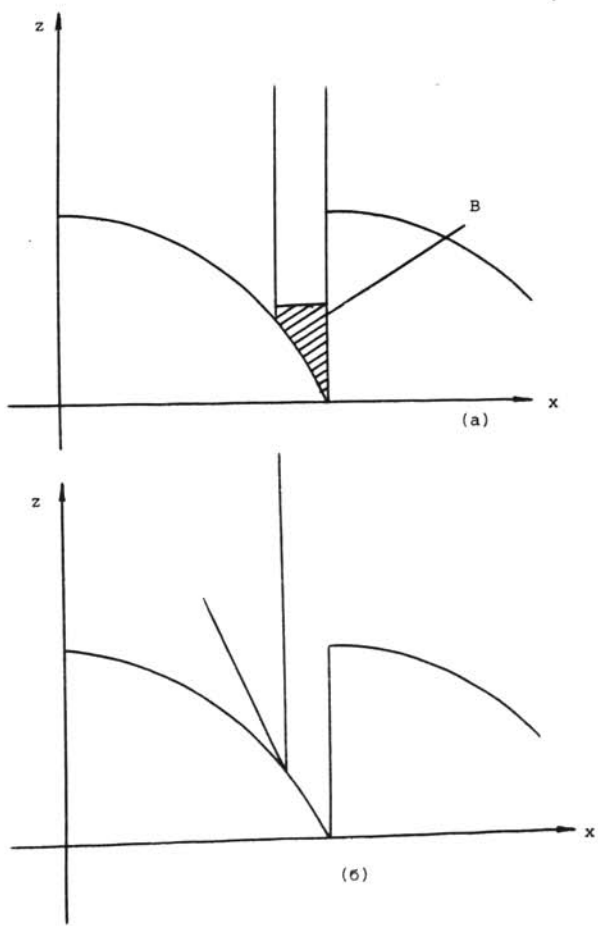

Рис. 2

подача вводит ограничение на минимальное расстояние, которое станок с ЧПУ может отработать. Для НЦ-470 такое минимальное расстояние по осям x и y равно 13 мм, а по оси z - 6 мм. Если попытаться и теперь просто задавать соответствующие координаты, то, учитывая минимальное расстояние, которое станок с ЧПУ может отработать, пришлось бы для перемещения резца на 0,01 мм предварительно отводить его в сторону на расстояние, превышающее 13 мм по оси x или y и более 6 мм по оси z. Это привело бы к значительному увеличению числа управляющих кадров, а соответственно и времени обработки детали.

Время непрерывной работы станка с ЧПУ, как правило, определяется рабочим временем оператора, работающего на данном станке, и не должно поэтому превышать 8-10 часов в сутки. Это означает, что управляющая программа не должна работать более этого времени и, хотя станок после выключения помнит 'ноль', желательно этот режим не использовать во избежание возможного сбоя станка. Кроме того, если программа была остановлена на произвольном кадре, то после выключения и повторного включения станка нахождение координат данного кадра представляет очень большие трудности. Для устранения данного затруднения необходимо, чтобы управляющая программа была разбита на несколько программ, работающих не более 8-10 часов и обрабатывающих полностью определенные участки линзы.

Кроме описанных выше особенностей работы станка, существенным является его рабочее пространство. Для НЦ-470 оно составляет 1500×350 мм соответственно по осям x, y и делает невозможным изготовление линзы, имеющей размеры 500x500 мм, за один технологический цикл. Чтобы преодолеть эту трудность, процесс изготовления линзы разбивается на несколько этапов, каждый из которых представляет из себя полностью законченный технологический цикл по обработке заранее определенных зон линзы. В данном конкретном случае было две управляющие программы: первая позволяла изготовить нечетные зоны с 3-й по 11-ю, а вторая - четные (с 4-й по 10-ю и плюс 1-ю и 2-ю зоны. Соответственно первая программа содержала около 2500 кадров и работала в течение 5 часов, а вторая программа около 3500 кадров и работала в течение 8 часов. Поверхность обработки линзы была разбита на две симметричные половины и изготавливалась посредством последовательной обработки каждой из них с поворотом заготовки на 180°.

На рис. 3 поясняется принцип, который заложен в основу метода изготовления линзы на станке с ЧПУ. В основе указанного метода лежит идея равномерного заглубления резца вдоль оси Z по квантованным отрезкам ΔZ. Величина кванта отрезка выбирается из следующего условия $\Delta Z < \Delta H$, где ΔH - максимально допустимая величина погрешности отклонения реального профиля обрабатываемой линзы от расчетного. Конкретное значение величины кванта отрезка определяется методом подбора, учитывая при этом условие, приведенное выше, и добиваясь одновременного уменьшения числа кадров в управляющей программе.

Траектория движения резца показана на рис. 4. На первом этапе определяется начальная точка, которая в дальнейшей работе является нулевой, т.е. в которой координаты x, y, z = 0. Для ее определения поверхность обработки детали делится вручную на две равные части и вдоль оси y процарапывается риска, которая служит для визуального контроля. Резец устанавливается на уровне чуть ниже верхней поверхности линзы (для исключения неровностей) и отводится по оси y от края линзы на расстояние 1-5 см. После всех этих операций станок "зануляется", точка "зануления" становится нулевой точкой. Движение резца вдоль оси x идет параллельно краю линзы. В заданных точках производится резание, при этом резец движется вдоль оси y сначала в положительном направлении на заданное расстояние, а затем возвращается в исходное положение. Отработав задание по осям x и y, станок перемещает резец вдоль оси z в положительном направлении на расстояние более 13 мм, после чего резец возвращается в точку x, y = 0 и опускает его на новую глубину.

Движение резца вдоль оси z начинается из точки максимума функции E(k, x), описывающей профиль линзы, и идет по точкам, которые получаются в результате последовательного вычитания квантованных отрезков. При нахождении резца на заданной точке оси последовательно исследуется каждая зона и по результатам

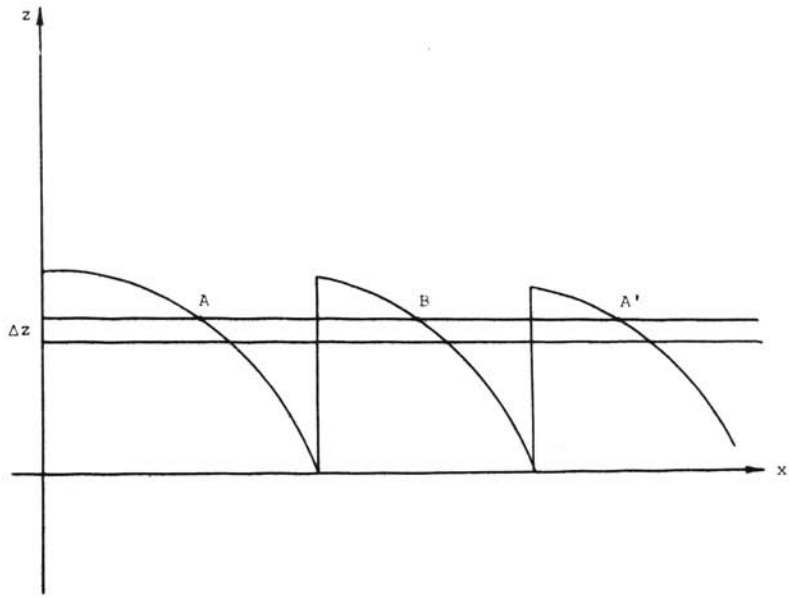

Рис. 3

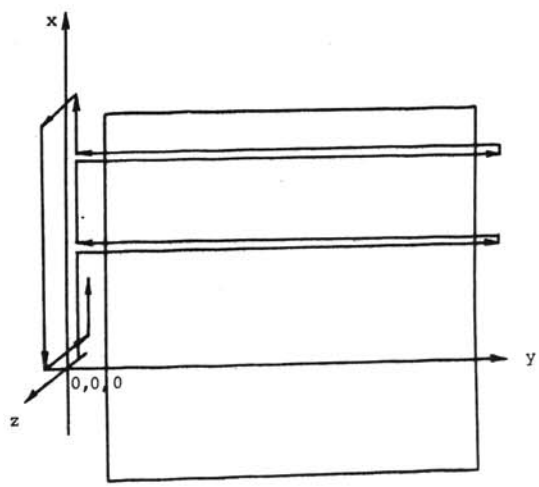

Рис. 4

исследования принимается решение о необходимости резания в той или иной зоне.

В исследование зоны входит определение величины погрешности между точкой квантования оси z и ближайшими точками рассчитанного профиля. В данном случае возможны три варианта: первый - в пределах квантованного отрезка находится одна точка рассчитанного профиля; второй - в пределах квантованного отрезка находятся несколько точек рассчитанного профиля; третий - отсутствие точек рассчитанного профиля в пределах квантованного отрезка. Первый случай наиболее простой: при данных условиях принимается решение о необходимости резания. Во втором случае проводится анализ погрешности по каждой точке, находящейся в данном квантованном отрезке, и для резания выбирается та точка, в которой погрешность максимальна, но меньше допустимой. В третьем случае прежде принятия решения не резать на данном участке, проводится анализ погрешности между предыдущей точкой резания и вероятной точкой на следующем квантованном отрезке. При погрешности, превышающей допустимую,

резание производится, при меньшей - нет.

Таким образом резец, последовательно двигаясь квантованными отрезками по оси, на каждом уровне перемещается по оси x от 1 зоны до последней и режет только в тех зонах, в которых выполняются условия, описанные выше.

Для избежания ограничения, накладываемого быстрой подачей станка с ЧПУ, обработка зон линзы первым методом шла по четным или нечетным зонам. Этот режим выбирался из тех соображений, что расстояние между соседними зонами должно быть больше 13 мм, а число управляющих программ минимальным.

Применив данный метод, были изготовлены зоны с 3-й по 11-ю для 1-й и 2-й зоны был применен другой способ. На рис. 5 поясняется сущность этого метода. В отличие от метода, который был применен для зон с 3-й по 11-ю здесь был использован более простой способ. Двигаясь вдоль зоны по оси x, производится вычисление погрешности и точка резания определяется там, где погрешность максимальна, но меньше заданной. Недостаток данного метода заключается в том, что резко возрастает число кадров в управляющей программе, так как для перемещения резца в соседнюю точку требуется его отводить по осям x и z на расстояния большие, чем 13 мм и 6 мм соответственно. К достоинствам указанного метода можно отнести его простоту.

Создание управляющей программы для изготовления элементов плоской оптики на консольно-фрезерном станке с числовым программным управлением, осуществлялось по следующему алгоритму.

1. Рассчитывалась линза и определялось точное значение координат профиля элемента в соответствии с заданным уравнением. Вычислялся угол максимальной крутизны функции с целью точного расчета профиля инструмента и определялись точки максимума и минимума.

2. Преобразование одномерного массива E(x), описывающего профиль линзы в двухмерный E(k, x), где k - номер зоны, а x - координата вдоль оси x и запись данных в специальный файл, используемый в дальнейшем в качестве основного рабочего.

3. Определение порядка изготовления зон, задание максимально допустимой погрешности обработки.

4. Начало основной работы: задание управляющих кадров по оси с заданным шагом, логическая схема реализации метода, определение точек резания и формирование управляющих кадров, повторение заданное число раз данной логической схемы.

5. Исследования необходимости изготовления 1-й и 2-й зоны, при наличии данной необходимости переход к следующей части программы, в

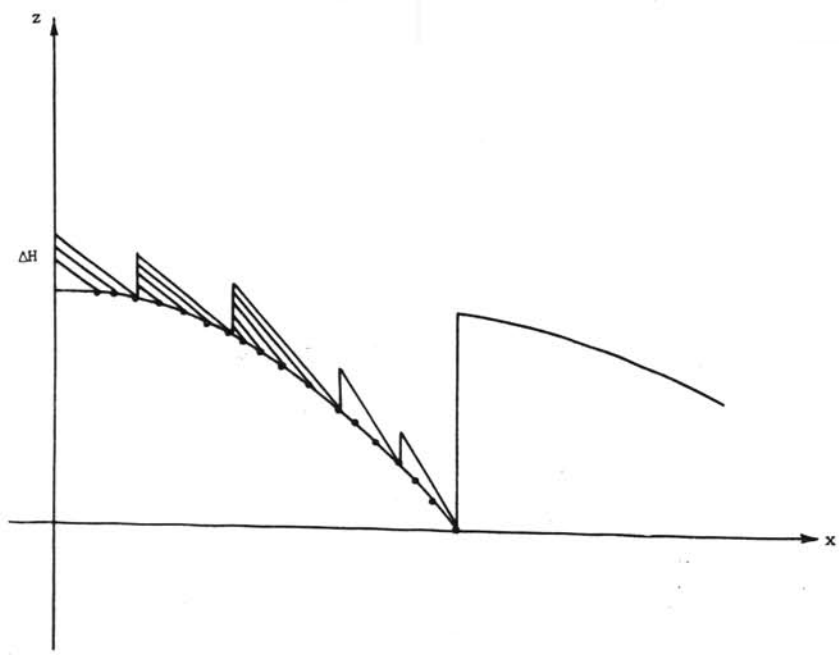

Рис. 5

противном случае формирование конечных кадров и окончание работы.

7. Изготовление 1-й и 2-й зоны линзы, реализация нового метода при их создании, формирование управляющих кадров.

8. Завершение работы, формирование заключительных кадров, конец программы.

Результатом проделанной работы явилось создание элементов плоской оптики миллиметрового диапазона. Были изготовлены две линзы: одна на токарном, вторая на консольно-фрезерном станке с ЧПУ. Первая линза имеет в плане вид круга с диаметром, равным 50 см, а вторая линза - цилиндрическая, имеющая в плане вид квадрата со стороной, равной 50 см. В профиле обе эти линзы с одной стороны плоские, а с другой - имеют поверхности, обеспечивающие заданные параметры оптических элементов.

Изготовление элементов плоской оптики миллиметрового диапазона на серийных промышленных станках с ЧПУ, как было показано выше, сталкивается с рядом технологических задач, которые необходимо решать. Поэтому те методы, которые были предложены в данной работе, могут представлять определенный интерес и быть полезными при разработке и создании подобных оптических элементов для миллиметрового и субмиллиметрового диапазона на серийных станках с ЧПУ.