

Изготовление дифракционного оптического элемента методом прецизионного алмазного микроточения

Н. А. Гурин^{1,2,3}*

¹ АО «Новосибирский приборостроительный завод», г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт автоматизации и электрометрии СО РАН г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: gna200694@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается процесс изготовления дифракционного оптического элемента методом прецизионного алмазного микроточения на примере дифракционной линзы. Процесс состоит из подготовительного этапа и этапа изготовления заданного дифракционного элемента на специализированном оборудовании с компьютерным программным управлением. Подготовительный этап включает в себя подбор специального алмазного резца с ответным вылетом угла резца относительно рассчитанной микроструктуры дифракционного элемента, подготовку и изготовление необходимой оснастки, в том числе креплений, с помощью которых устанавливается и юстируется оптическая деталь, на поверхности которой формируется дифракционная линза. На следующем этапе в программное обеспечение компьютера вносятся заданные значения параметров зон линзы, значения параметров алмазного резца, и запускается сам процесс изготовления дифракционной линзы.

Ключевые слова: алмазное точение, дифракционная линза

Fabrication of a diffractive optical element by the precision diamond micro-turning method

N. A. Gurin^{1,2,3}*

¹ JSC "Novosibirsk Instrument-Making Plant", Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

³ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: gna200694@yandex.ru

Abstract. The paper considers the manufacturing process of a diffractive optical element by precision diamond micro-turning using a diffractive lens as an example. The process consists of a preparatory stage and the stage of manufacturing a given diffractive element on specialized equipment with computer program control. The preparatory stage includes selection of a special diamond cutter with a response offset of the cutter angle relative to the calculated microstructure of the diffractive element, the preparation and manufacture of the necessary equipment, including fasteners, with the help of which the optical part is installed and adjusted, on the surface of which a diffractive lens is formed. After that, the specified values of the parameters of the lens zones, the values of the parameters of the diamond cutter are entered into the computer software, and the process of manufacturing a diffractive lens is started.

Key words: diamond turning, diffractive lens

Введение

Одним из важнейших требований, предъявляемых к современным методам изготовления серийной оптической продукции, является технологичность прецизионных процессов производства. В настоящее время для обеспечения требуемых технических характеристик оптических систем и элементов в процессе их проектирования закладывается, например, изготовление элементов по технологии прецизионного алмазного микроточения [1–5]. Алмазное микроточение оптических элементов является, по сути, аналогом механической обработки металлических деталей на токарном станке.

Отличие заключается в том, что обрабатываемые алмазным режущим инструментом детали являются не только твердыми металлическими или полимерными материалами, но и хрупкими – стеклянными или полупроводниковыми аморфно-кристаллическими материалами. Каждый год увеличивается потребность в обработке алмазным точением оптических деталей с двухсторонней асферической формой поверхности. При эксплуатации оборудования и проведении технологического процесса алмазного точения необходимо обеспечение жестких требований к производственному помещению (отсутствие вибраций, пыли, постоянство температуры, влажности), в котором размещено оборудование.

Решаемая задача

Станок прецизионного алмазного микроточения позволяет значительно расширить номенклатуру выпускаемых оптических элементов и деталей из таких материалов как: кристаллический германий оптический (КГО), кремний, селенид и сульфид цинка, золото, платина, свинец, полиметилметакрилат, он же авиационный пластик (ПММА) и т.д. Форма поверхности может быть изготовлена как сферическая, так и двухсторонняя асферическая поверхность высших порядков, а так же возможно изготовление дифракционных линз, элементов киноформной и аксиконической оптики с чистотой поверхности не ниже II класса по ГОСТ 11141-84.

В данной работе рассматривается изготовление дифракционной линзы. Технология обработки заключалась в подборе специального дифракционного алмазного резца с ответным вылетом угла резца относительно рассчитанной пилообразной дифракционной структуры.

Для начала операции прецизионного точения требуется подготовить оснастку, на которую крепится оптическая заготовка. В данном случае использовался вакуумный патрон из материала Д16, он протачивался сначала в ответный радиус оптической заготовки из ПММА классическим резцом, после получения ответного радиуса классический резец заменялся на алмазный и протачивал три прохода для устранения шероховатости на вакуумном держателе. Про-

точка алмазным резцом требуется для минимизации возможностей поцарапать оптическую деталь.

Заготовка из материала ПММА крепится на вакуумный патрон методом вакуумного прижима, после чего при помощи микронной индикаторной головки оптическая заготовка позиционируется по диаметру для минимизации биений. После этого в программное обеспечение станка вносятся параметры зон Френеля и происходит эмуляция зон (рис. 1).

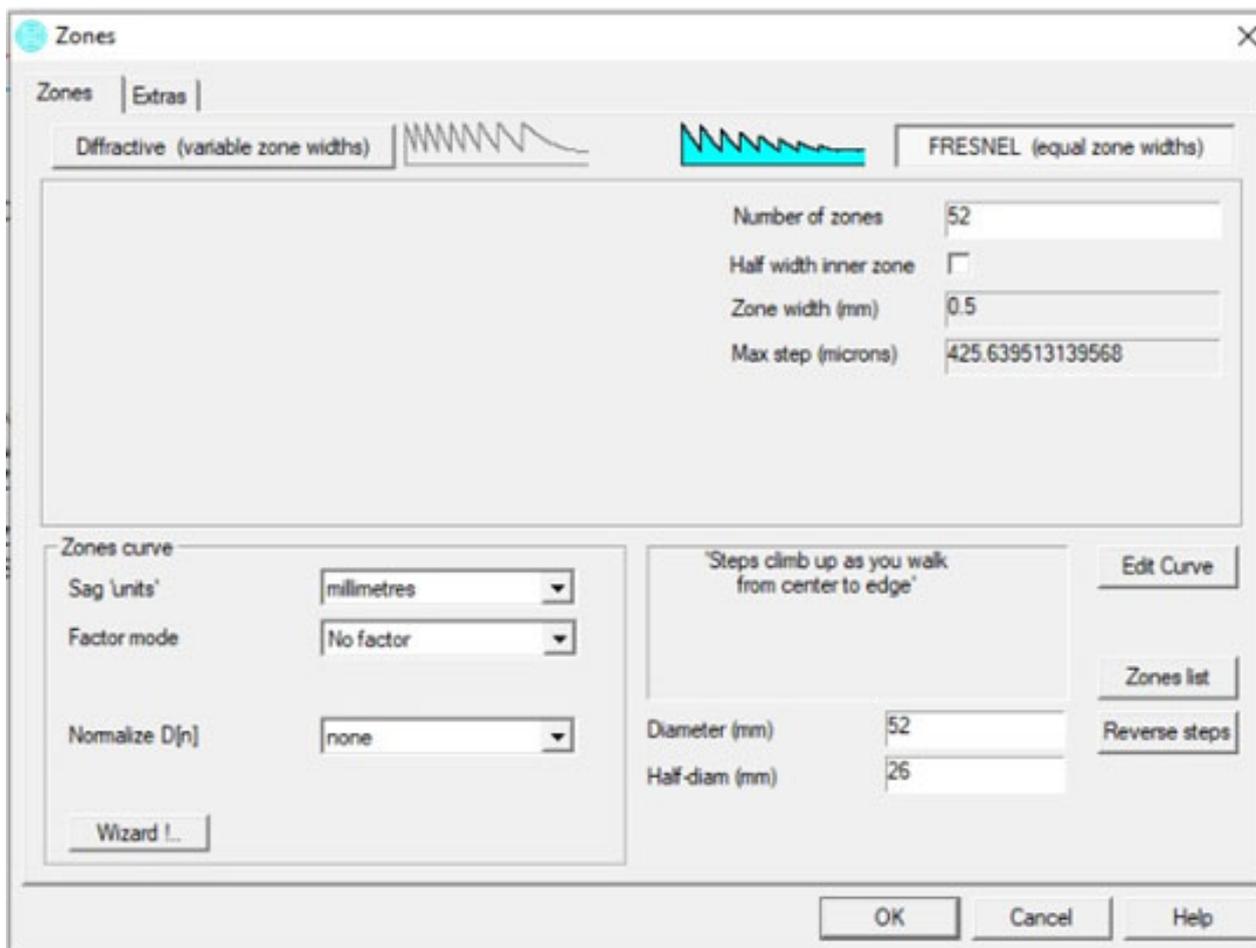


Рис. 1. Эмуляция линзы Френеля

Далее вводится количество зон и их глубина, и станок высчитывает для себя порядок прохода каждой зоны (рис. 2–3). Затем в программу вносятся параметры алмазного резца (рис. 4). Стоит обратить внимание, что параметры резца берутся из конструкторской документации, прилагаемой производителем резца. После вышеупомянутых настроечных операций приступают к выравниванию плоскости оптической заготовки, она же «косина», путем проточки алмазным резцом по плоскости. После того как плоскостность поверхности удовлетворяет требованиям конструкторской документации, запускается программа для выточки дифракционной линзы методом «выхаживания».

Zones List			Zones List		
FRESNEL design (variable step heights)					
Number of zones = 52					
Zone width = 0.50000 (mm)					
#	Diam/2 (mm)	Step height (microns)			
1	0.5000000	4.573792	24	12.0000000	211.8082
2	1.0000000	13.72072	25	12.5000000	220.5025
3	1.5000000	22.86569	26	13.0000000	229.1512
4	2.0000000	32.00737	27	13.5000000	237.7515
5	2.5000000	41.14444	28	14.0000000	246.3003
6	3.0000000	50.27554	29	14.5000000	254.7942
7	3.5000000	59.39929	30	15.0000000	263.23
8	4.0000000	68.51428	31	15.5000000	271.6042
9	4.5000000	77.61907	32	16.0000000	279.9131
10	5.0000000	86.71217	33	16.5000000	288.153
11	5.5000000	95.79205	34	17.0000000	296.32
12	6.0000000	104.8571	35	17.5000000	304.41
13	6.5000000	113.9057	36	18.0000000	312.419
14	7.0000000	122.9361	37	18.5000000	320.3425
15	7.5000000	131.9466	38	19.0000000	328.1762
16	8.0000000	140.9352	39	19.5000000	335.9154
17	8.5000000	149.9001	40	20.0000000	343.5555
18	9.0000000	158.8393	41	20.5000000	351.0917
19	9.5000000	167.7505	42	21.0000000	358.5189
20	10.0000000	176.6317	43	21.5000000	365.8321
21	10.5000000	185.4805	44	22.0000000	373.0262
22	11.0000000	194.2946	45	22.5000000	380.0959
23	11.5000000	203.0714	46	23.0000000	387.0357
24	12.0000000	211.8082	47	23.5000000	393.8403
			48	24.0000000	400.5041
			49	24.5000000	407.0215
			50	25.0000000	413.387
			51	25.5000000	419.5948
			52	26.0000000	425.6395

Рис. 2. Расчет параметров зон линзы

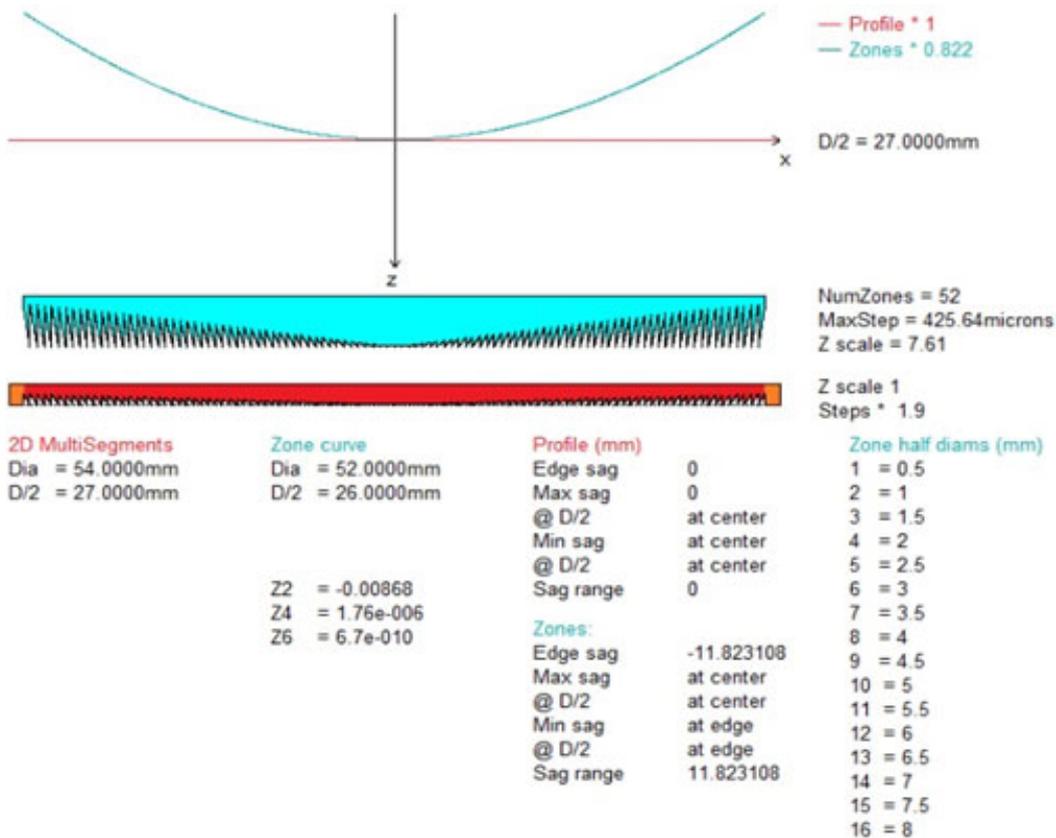


Рис. 3. Рассчитанные зоны с углубление и шагом

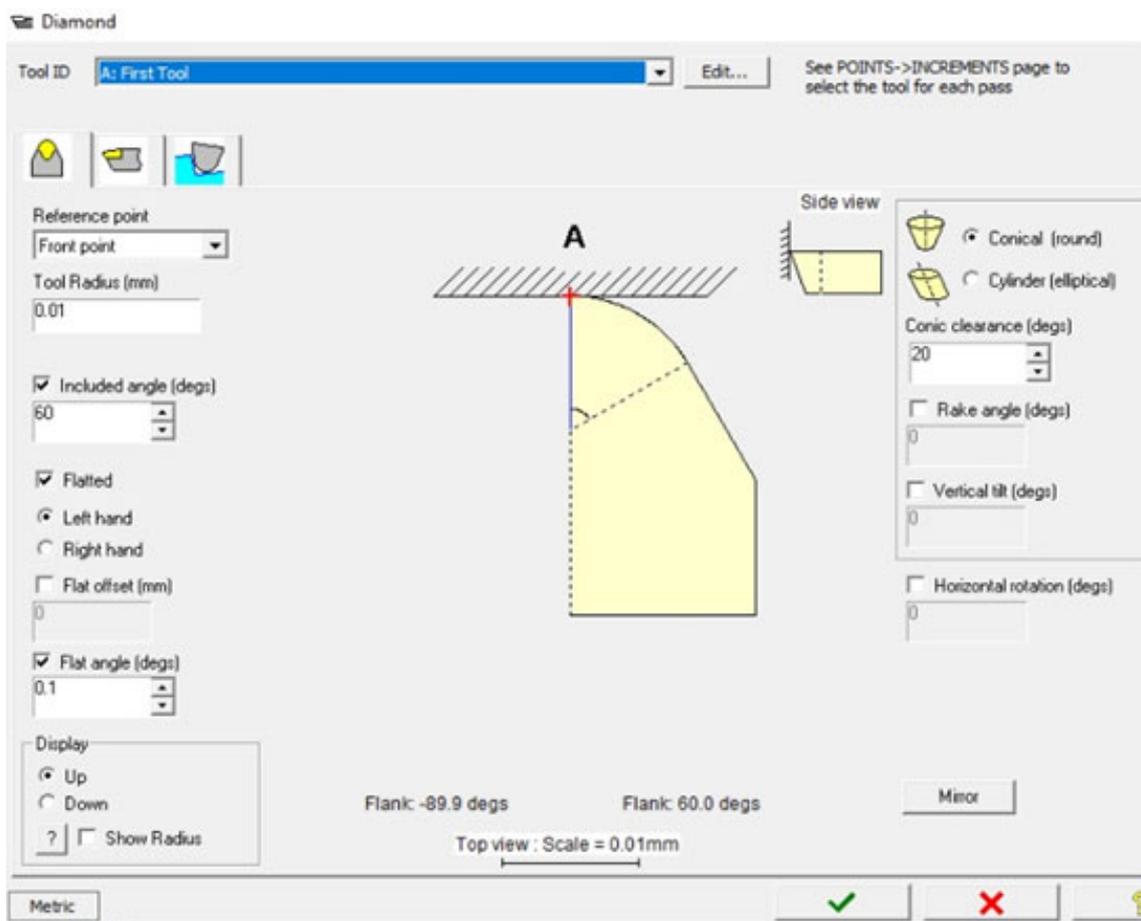


Рис. 4. Настройка резца

Обсуждение

Основные области применения технологии прецизионного алмазного точения – следующие.

Изготовление металлооптических элементов, таких как металлические зеркала плоской, сферической и асферической форм из таких материалов как алюминий и медь, при этом шероховатость обрабатываемой поверхности составляет не более 2 нм [6,7]. В сравнении с классическими станками токарного типа нормального класса точности станки серии DMG способны получать шероховатость Ra 0,8. Станок алмазного точения относится к прецизионному классу точности, что позволяет ему получать шероховатость поверхности не хуже Ra 0,012.

Изготовление оптических деталей с рабочими поверхностями сложной асферической формы. Классические станки по асферизации (такие как OptoTech и Satisloh) ограничены крутизной линзы выхода полировального инструмента, что значительно снижает возможности выбора порядка и формы асферической поверхности. Благодаря прецизионному станку алмазного точения мы способны изготавливать детали диаметром до 250 мм любой асферической формы.

Киноформные элементы для инфракрасных оптических систем [7]. Сильное поглощение инфракрасного света оптическими материалами резко сужает пере-

чень материалов, которые могут быть на практике использованы в инфракрасной области спектра. Из-за этого возникает проблема исправления инфракрасных хроматических aberrаций. Использование киноформ позволяет как скорректировать хроматические aberrации, так и уменьшить количество необходимых оптических элементов в устройствах, работающих в инфракрасной области спектра.

Заключение

Таким образом, технология прецизионного алмазного точения обладает существенными дополнительными возможностями по сравнению с известными технологическими процессами полирования, вакуумной и термопластической формовкой. В частности, эта технология позволяет совместить получение оптического элемента с плоской, сферической или асферической поверхностью и дифракционной структуры на ней в рамках единого непрерывного технологического процесса. При этом обеспечивается получение количественных оптических характеристик элемента, трудно достижимых другими известными методами изготовления.

Благодарности

Автор считает необходимым выразить искреннюю благодарность своему коллеге – В.Л. Парко – за плодотворную совместную работу, а также своему научному руководителю Ю.Ц. Батомункуеву – за полезное обсуждение цели, задач и результатов данной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солк С.В., Сабинин В.Е. Новые области применения технологии алмазного микроточения // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72. – № 11. – С. 82–85.
2. Добровольский Г.Г., Саксеев П.Ю. Алмазное микроточение кремния и германия (обзор) // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 1. – С. 46–51.
3. Клименко С.А., Манохин А.С. Термодинамический анализ напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя изделия, обработанного алмазным микроточением // Процессы механической обработки в машиностроении. – 2010. – В. 9. – С. 74–81.
4. Арутюнян В.В., Шевцов С.Е. Формообразование оптических поверхностей методом алмазного микроточения на материалах, применяемых в ИК диапазоне спектра // Контентант. – 2013. – Т. 12. – № 2. – С. 60–63.
5. Solk S., Shevtsov S., Iakovlev A. Designing of optical elements manufactured by diamond turning // Proc. of SPIE. – 2000. – V. 4231. – P. 181–188.
6. Черезова Л.А., Михайлов А.В. Применение ионной обработки в нанотехнологиях получения высокоточных поверхностей оптических деталей // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77. – № 5. – С. 51–54.
7. Мирошников М.М., Любарский С.В., Любарский Н.Х. Оптические зеркала для космической инфракрасной астрономии // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77. – № 4. – С. 36–40.

© Н. А. Гурин, 2022