

Анализ возможностей разработки малооперационной технологии изготовления механической части оптических приборов

М. А. Макушин¹, П. В. Петров¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,

Российская Федерация

* e-mail: ingbeksil@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальность современной мало-операционной технологии изготовления механической части оптических приборов. Выдвинуто предположение, что наиболее подходящими современными технологическими стратегиями для мало-операционного производства сложных металлических деталей приборов являются аддитивные технологии и обработка резанием на станках типа «обрабатывающий центр» (ОЦ). Систематизированы достоинства и недостатки 3D-технологий. Определена возможность получения аддитивными технологиями сложных металлических деталей за две-пять технологических операции. Обращено внимание на отсутствие точной и объективной информации об аддитивных технологиях с точки зрения их применения в приборостроении. Определены факторы, препятствующие мало-операционной технологии изготовления металлических деталей на станках типа ОЦ, а также меры по устранению этих факторов. Определена возможность получения с применением ОЦ сложных металлических деталей за пять технологических операций.

Ключевые слова: технология, обработка резанием, обрабатывающий центр, комплексная операция, мало-операционный процесс

Analysis of the possibilities of developing a low-operating technology for manufacturing the mechanical part of optical devices

M. A. Makushin¹, P. V. Petrov¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: ingbeksil@mail.ru

Annotation. The article discusses the relevance of modern low-operating technology for manufacturing the mechanical part of optical devices. It is suggested that the most suitable modern technological strategies for the low-operational production of complex metal parts of devices are additive technologies and cutting processing on machines of the "processing center" type (OC). The advantages and disadvantages of 3D technologies are systematized. The possibility of obtaining complex metal parts by additive technologies in two to five technological operations has been determined. Attention is drawn to the lack of accurate and objective information about additive technologies in terms of their application in instrumentation. The factors hindering the low-operational technology of manufacturing metal parts on machines of the "OC" type, as well as measures to eliminate these factors, are determined. The possibility of obtaining complex metal parts using OC in five technological operations has been determined.

Keywords: technology, cutting, machining center, complex operation, small-operational process

Введение

Актуальность разработки мало-операционной технологии изготовления механической части оптических приборов определяется необходимостью:

- наибольшего сокращения производственного цикла изготовления оптических приборов (или их частей) с обеспечением наименьших производственных площадей и числа рабочих мест;
- обеспечения наименьшей трудоемкости современной машинной обработки, в частности, из-за высокой цены оборудования;
- применения современного универсального оборудования с числовым программным управлением, обеспечивающего централизованное, комплексное, всестороннее изготовление изделия за наименьшее число установок.

В данной статье анализируются возможности разработки мало-операционной технологии изготовления металлических деталей 3D-технологиями или на станках типа «обрабатывающий центр» (ОЦ).

Главная задача данной работы: определить факторы, препятствующие мало-операционной технологии в области производства металлических деталей, и меры по сокращению (устранению) этих факторов.

Методы и материалы

Для получения результатов использовались системный подход, поиск, обзор и анализ тематической информации, доступной в сети Интернет и профильной технической литературе.

Результаты и обсуждение

Нами выдвинуто предположение, что наиболее подходящими современными технологическими стратегиями для мало-операционного производства сложных металлических деталей приборов являются аддитивные технологии и обработка резанием на станках типа ОЦ. Рассмотрим каждую из этих стратегий.

Аддитивные технологии сегодня являются одними из самых бурно развивающихся технологий в мире. В частности, премьер-министр Российской Федерации М. Мишустин в 2021 г. утвердил стратегию аддитивных технологий на период до 2030 г. [1]. К числу основных достоинств этих технологий в целом, или их отдельных представителей можно отнести следующие [1-5]:

- реальный переход к безбумажному формату, когда для изготовления детали традиционной бумажной чертежной документации в принципе не требуется;
- снижение энергетических, стоимостных и временных затрат в сравнении с традиционными технологиями формообразования изделия, которые, как правило, многооперационные и затратные;
- обеспечение экологичности с точки зрения охраны окружающей среды и, в частности, эмиссии парниковых газов и «теплового» загрязнения;
- высокий коэффициент использования исходного материала;

- возможность создания изделий «под ключ», без дополнительной обработки;
- возможность изготовления «корпусов для приборов и компонентов устройств; уникальных корпусов электронных приборов и механизмов» [3];
- возможность изготовления изделий любой сложности. Причем «изготовление простого куба или цилиндра занимает практически столько же времени, как и производство сложного объекта такого же объема» [4];
- возможность замены данной технологией огромного количества разновидностей традиционного формообразующего оборудования;
- возможность получения (например, методом электронно-лучевой плавки металлических порошков) готовых изделий «без необходимости дополнительной термообработки» и с «очень высокой плотностью, сравнимой с технологией литья».

Несмотря на эффектные и эффективные преимущества аддитивных технологий, сегодня есть проблемы [3, 4], связанные, возможно, с дефицитом объективной информации и «болезнями роста» этих технологий:

- неотработанность аддитивных технологий на технологичность: необходимость проведения разнообразных исследований и испытаний изделий, полученных аддитивными технологиями;
- значительные технологические ограничения на изготовление механических деталей приборов из тех металлов, из которых изделия производились традиционными технологиями;
- необходимость в дополнительной механической обработке изделий, полученных аддитивными технологиями. Дополнительная обработка вызвана геометрическими деформациями и шероховатостью изделий;
- высокая трудоемкость изготовления деталей больших размеров;
- отсутствие гарантии надежности получаемых деталей из-за порошкового состояния исходного материала и послойного принципа его спекания. Дефекты материала таких деталей (наличие примесей, пористость, анизотропия и т.п.) выше, чем в деталях, которые сделаны из цельного материала;
- невысокие точность изготовления и качество поверхностей деталей;
- применение только в условиях опытного, единичного, и редко мелкосерийного производств. Неэффективность использования 3D-принтеров для серийного и массового производства изделий;
- возможно, нежелание производителей металлорежущих ОЦ сдавать свои выгодные финансовые позиции и свой рынок в пользу аддитивных технологий. Примером компромиссного устройства можно считать уникальный российский пяти-координатный обрабатывающий центр, объединяющий в себе возможности аддитивного формования деталей с механической обработкой [2], применяемый для производства деталей двигателей и других сложных деталей типа «не тела вращения».

Ряд вышеперечисленных недостатков, как и утверждение об изготовлении аддитивными технологиями не самых ответственных деталей [4], воспринима-

ется с сомнением. Потому что не согласуются с информацией о применении аддитивных технологий для изготовления «высокоточных объектов для авиакосмической и атомной промышленности» [1, 2], где требования к надежности изделий очень жесткие.

Опираясь на преимущества аддитивных технологий, для особо благоприятных условий производства можно говорить о теоретической возможности производства сложных корпусов оптических приборов всего за две операции. Имеется в виду, что «выращивание» с нуля сложной детали не потребует термической операции и завершится получением изделия «по чертежу», без дополнительной станочной обработки и без покрытия, но с контрольной операцией. Однако утверждать об этом в практическом смысле слова преждевременно.

Фактором, препятствующим распространению аддитивных технологий на изготовление сложных деталей, является отсутствие точной, конструктивной и объективной информации об этих технологиях с точки зрения их применения в оптическом приборостроении. Необходимы конкретные и однозначные данные о достигаемых значениях шероховатости, отклонениях размеров, пространственных отклонениях поверхностей и свойств материала в отношении изделий различных форм, размеров и материалов, потенциально получаемых с помощью 3D-печати.

Таким образом, первоочередной проблемой для внедрения аддитивных технологий в оптическое приборостроение является информационная недостаточность.

Исходя из общих предположений, наиболее вероятен вариант аддитивного изготовления сложных деталей приборов в виде трех-, четырех- или пяти-операционного технологического процесса. В общем случае мало-операционный технологический процесс предусматривает изготовление аддитивного полуфабриката в заготовительной операции, обработку резанием в программной операции на станке с ЧПУ, термическую операцию, операцию покрытия и окончательный контроль.

Второй современной технологической стратегией для реализации мало-операционного производства сложных металлических деталей приборов является обработка резанием на станках типа ОЦ. В отличие от аддитивных технологий, данные о возможностях комплексной обработки общедоступны. Однако эта ситуация не устраняет свои, специфические проблемы.

В табл. 1 приведены факторы, препятствующие мало-операционной технологии, и меры по устранению этих факторов.

Рассмотрим факторы, препятствующие мало-операционной технологии, и меры по их устранению.

Наличие внутренних напряжений и необходимость термообработки.

Как известно, материал исходных заготовок после литья, обработки давлением и сварки приобретает внутренние напряжения. Для полного или частичного устранения этих напряжений предусматриваются термические операции, что приводит к увеличению общего числа операций в технологическом процессе. Кроме того, уменьшение напряжений возможно за счет изменения вида загото-

вительной операции. Для этого необходимы точные сведения о зависимости внутренних напряжений от вида заготовительной операции. Например, обработку давлением заменить литьем, если это приведет к уменьшению напряжений. В свою очередь, такое решение потребует обязательного изменения марки исходного материала на литейную.

Таблица 1

Факторы, препятствующие мало-операционной технологии,
и меры по их устранению

№	Факторы, препятствующие мало-операционной технологии	Меры по устранению факторов
1	Наличие внутренних напряжений и необходимость термообработки	- отказ от термообработки, в ущерб качеству детали; - изменение способа получения исходной заготовки для обеспечения наименьших напряжений
2	Отсутствие поверхностей в исходной заготовке, которые не требуют обработки резанием	- выбор модели ОЦ для выполнения комплексной операции за два установка; - отработка конструкции детали на технологичность и назначение поверхностей, достаточных для одно-(двух)кратного базирования и установки в приспособлении
3	Наличие в детали поверхностей, которые требуют специальной финишной обработки, например, шлифования	- замена специальной финишной обработки на лезвийную обработку, совместимую с подобными работами на применяемой модели ОЦ; - дополнительная отработка конструкции детали на технологичность
4	Наличие в детали мелких отверстий, невозможных для образования на выбранной или рекомендуемой модели ОЦ	- замена модели ОЦ на другую модель, на которой, в том числе, возможно получение мелких отверстий
5	Необходимость притупления острых кромок на поверхностях, полученных резанием, в отдельной операции	- притупление кромок в одной операции с образованием основных поверхностей; - упрощение профиля кромки за счет изменения конструкции детали в ходе ее отработки на технологичность
6	Наличие в детали сложных поверхностей, образуемых только в ходе <i>многокоординатной</i> обработки резанием	- выбор адекватной модели ОЦ; - упрощение конструкции детали за счет разделения ее на составные, соединяемые детали; - унификация элементов конструкции
7	Необходимость покрытия детали в отдельной операции	- отказ от покрытия на детали из нового материала
8	Необходимость итогового контроля	- выполнение контроля на модели ОЦ

Если в ходе эксплуатации металлическая деталь прибора будет мало нагружена, то с внутренним напряжением металла можно смириться. Однако такая ситуация реальна только для мелких и неответственных деталей прибора. Корпусные детали, как несущие конструкции, чувствительны к внутренним и оста-

точным напряжениям. Проведенный нами анализ показал, что в технологических процессах изготовления корпусных деталей часто предусматривается термическая операция, иногда даже не одна. Чаще всего назначается отжиг, редко искусственное старение. Термическая обработка выполняется сразу после заготовительной операции, иногда – между операциями обработки резанием. Причем необходимо учитывать, что процесс резания также служит источником внутренних напряжений.

Отсутствие поверхностей в исходной заготовке, которые не требуют обработки резанием.

В этом случае требуется всесторонняя обработка изделия, что практически невозможно в одной операции. Компромиссным вариантом мог быть выбор модели ОЦ, например, «W50» с двухместным поворотным столом для выполнения комплексной операции за два станова.

Еще одной мерой по устранению данного ограничения может являться дополнительная отработка конструкции детали на технологичность и назначение поверхностей, достаточных для одно-(двух)кратного базирования и установки в приспособлении. Для этого придется отказаться от обработки резанием поверхностей, выполняющих функции технологических баз.

Наличие поверхностей в детали, которые требуют специальной финишной обработки, например, шлифования.

Уровень технологических и технических возможностей современных ОЦ высок с точки зрения формы обрабатываемой поверхности и показателей качества. Поэтому можно заменить специальную финишную обработку лезвийной, совместимой с подобными работами на применяемой модели ОЦ [6, 7].

Второй мерой по устранению данного ограничения может служить дополнительная отработка конструкции детали на технологичность и обоснованное снижение требований к поверхности, требующей специальной финишной обработки.

Наличие в детали мелких отверстий, невозможных для образования на выбранной или рекомендуемой модели ОЦ.

Под мелкими понимаются отверстия диаметром от 0,1 до 2,0 мм [8]. На многих современных моделях ОЦ не выполняют или не рекомендуют обработку таких отверстий, так как мелкие сверла часто ломаются. Обработка отверстий в таком случае выполняется в отдельной операции в кондукторах на универсальных сверлильных станках.

На сегодня появился более производительный, качественный и дорогостоящий выход из ситуации: выбор современной модели ОЦ, на которой возможно получение мелких отверстий.

Необходимость притупления острых кромок на поверхностях, полученных резанием, в отдельной слесарной или виброабразивной операции.

Одной из наиболее реальных мер по устранению данного ограничения является притупление кромок в той же операции, где образуются основные поверхности, за счет применения режущего инструмента соответствующего назначе-

ния. Таким инструментом является фасочный резец, фасочная фреза, сверло-фреза и т.п. [7, 9, 10].

Кроме того, можно упростить геометрию острой кромки за счет изменения конструкции детали в ходе ее обработки на технологичность.

Наличие в детали сложных поверхностей, образуемых только в ходе многокоординатной обработки резанием.

На сегодняшний день многокоординатная обработка на современных токарных ОЦ (ТОЦ) и ОЦ сверлильно-фрезерно-расточной группы (ОЦ СФР) не составляет больших сложностей. Этому способствуют наличие в отдельных моделях ТОЦ механизмов перемещения инструмента вдоль и вокруг вертикальной оси Y, а также наличие двухосевых позиционных столов и поворотных инструментальных шпиндельных головок для отдельных моделей ОЦ СФР [11]. Другое дело, что применение ОЦ с дорогостоящими техническими возможностями требует экономического оправдания. Альтернативой этому решению, или дополнительными мерами могут служить унификация элементов конструкции обрабатываемого изделия или упрощение конструкции изделия за счет разделения ее на составные части.

Необходимость операции покрытия детали или ее части.

Выполнять покрытие на том же оборудовании, на котором формуются резанием основные поверхности, маловероятно. Во всяком случае, в ближайшее время, а может быть и в перспективе. Условием избегания покрытия может быть принципиальное изменение материала изделия, но это тема отдельного анализа в современном материаловедении.

Необходимость итогового контроля.

Необходимость независимого контроля по результатам изготовления детали очевидна. Контроль непосредственно на ОЦ не исключает контрольной операции в отделе технического контроля.

Заключение

Установлена возможность современного изготовления ответственных деталей механической части оптических приборов с использованием аддитивных технологий или резанием с применением станков типа «обрабатывающий центр». В первом случае, при благоприятных условиях, технологический процесс может состоять от двух до пяти технологических операций, а с применением ОЦ – не менее пяти технологических операций. На сегодняшний день – это пример самой мало-операционной технологии получения соответствующей продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития аддитивных технологий в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/index.php/> – Загл. с экрана.
2. Аддитивные технологии в промышленности: 3D-печать металлом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rostec.ru/news/additivnye-tekhnologii-v-promyshlennosti-3d-pechat-metallom/> – Загл. с экрана.

3. Особенности применения 3d печати в машиностроении [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docplayer.com/143989251_ – Загл. с экрана.
4. 3D-фанам стоит немного успокоиться [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stimul.online/articles/science-and-technology/> – Загл. с экрана.
5. Аддитивные технологии в действии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rostec.ru/news/additivnye-tekhnologii-v-deystvii/> – Загл. с экрана.
6. Многофункциональность токарных станков: тенденции и решения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ritm-magazine.ru/ru/public/mnogofunkcionalnost-tokarnyh-stankov-tendencii-i-resheniya> – Загл. с экрана.
7. Гавриченко Е.Г., Петров П.В. Технологические особенности изготовления сложных деталей механической части оптических приборов на обрабатывающих центрах/ Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Между-нар. науч. конгр., 19 – 21 мая 2021 г., Новосибирск: сб. материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 46-51.
8. Обработка отверстий // Каталог и техническое руководство фирмы «SECO TOOLS», Швеция, 2010. – 534 с.
9. Фрезы фасочные для обработки фасок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tme-osnastka.ru/frezy/frezy-fasochnye/> – Загл. с экрана.
10. Дружинин С.А., Петров П.В. Притупление острых кромок на металлических изделиях в приборостроении: выбор и оценка технологий/ Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Между-нар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 7 : Международ. науч.-технол. конф. студентов и молодых ученых «Молодежь. Инновации. Технологии». – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. No 1. – С. 22-29.
11. Гавриченко Е.Г., Петров П.В. Анализ и классификация обрабатывающих центров для изготовления деталей механической части оптических приборов/ Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Между-нар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск: сб. материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – С. 91-98.

© М. А. Макушин, П. В. Петров, 2022