

Д. П. Бабкина^{1}, Г. В. Симонова¹, П. Н. Бурдин²*

Анализ применения координатно-измерительных машин для контроля геометрических параметров профиля дипольных магнитов

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

²Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация

* email: D.P. Babkina@inp.nsk.su

Аннотация. В данной статье речь идет о выборе и актуальности применения современных координатно-измерительных машин для контроля изготовления электротехнических изделий специфической конфигурации. Анализ применения проводился по выделенным, критически важным геометрическим параметрам отдельных узлов магнита на основе требований конструкторской документации с учетом максимально допустимой погрешности измерений для двух анализируемых машин. Результаты работы предназначены для автоматизации процесса измерения структуры магнитной системы накопительного кольца Сибирского кольцевого источника фотонов (СКИФ). В основной части идет описание рассматриваемых координатно-измерительных машин, выбор и расчет максимальной допустимой погрешности измерения длины. В результате проведенных исследований обоснован выбор средств для измерения геометрических параметров дипольных магнитов марки BDA. Показано, что оптимальным решением для контроля пластин и пакетов BDA является разделение контроля пластин BDA на машине Contura G2, а пакетов на Accurate Accord.

Ключевые слова: координатно-измерительная машина, пластина, магнитопровод, профиль, дипольный магнит, измерение, точность, пакет

D. P. Babkina^{1}, G. V. Simonova¹, P. N. Burdin²*

Analysis of the application of CMM to control the geometric parameters of the profile of BDA SKIF dipole magnets.

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

²Institute of Nuclear Physics named after G.I. Budker, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

* email: D.P. Babkina@inp.nsk.su

Abstract. This article deals with the choice and relevance of using modern coordinate measuring machines to control the manufacture of electrical products of a specific configuration. The application analysis was carried out according to the selected, critically important geometric parameters of individual components of the BDA brand magnet, based on the requirements of the design documentation, with the calculation of the maximum permissible measurement error for the two analyzed machines. The analysis is carried out to automate the process of measuring the structure of the magnetic system of the storage ring of the Siberian Ring Photon Source (SKIF). The main part contains a description of the coordinate measuring machines (CMMs) under consideration, selection and calculation of the maximum permissible error in length measurement. As a result, of the research, the

choice of means for measuring the geometric parameters of BDA dipole magnets was justified. It has been shown that the optimal solution for inspecting wafers and BDA packages is to separate the inspection of BDA wafers on the Contura G2 machine, and the packages on the Accurate Accord.

Keywords: coordinate measuring machine, plate, magnetic core, profile, dipole magnet, measurement, accuracy, package

Введение

Научное строительство Сибирского кольцевого источника фотонов (СКИФ) в наукограде Кольцово Новосибирской области представляет собой уникальный проект, который обещает революционизировать физику, химию, биологию и материаловедение. Комплекс, являющийся безаналоговым источником рентгеновских лучей, будет служить важной основой для множества современных исследований и открытий. Для создания синхротронного излучения заданных характеристик, необходимо иметь минимальный размер пучка, что обеспечивается высоким качеством поля, которое в свою очередь зависит от того, насколько качественно в геометрическом плане изготовлены магнитные элементы. Магнитная система накопительного кольца СКИФ будет состоять из структуры, включающей поворотные магниты. Еще одна задача магнита – фокусировка пучка. Чтобы получить малый размер пучка, который так необходим, нужна очень сильная фокусировка.

Важнейшей задачей предприятия является подбор оптимального оборудования для контроля качества изделий и их комплектующих на всех этапах производства. Контроль размеров с малым полем допуска и сложной геометрической конфигурацией возможен с использованием специализированных высокоточных средств измерения с автоматизацией процесса контроля, таких как координатно-измерительные машины (КИМ).

Современные КИМ имеют различную конфигурацию, но обладают повышенными требованиями к окружающей среде (температура, влажность и т.д.), что уменьшает погрешность измерения данных машин. КИМ обладают возможностью автоматизации процесса измерения изделий сложной геометрической формы и регулярной геометрией за один измерительный цикл, высокой точностью, малой погрешностью измерения и отсутствием влияния человеческого фактора на результат измерения. Также имеется возможность задавать определенные стратегии измерения, которые позволяют сэкономить временной ресурс [1–7].

Методы и материалы

КИМ широко применяют для контроля профиля дипольных магнитов благодаря своей высокой точности измерений и возможности автоматизации процесса контроля. Применение КИМ для контроля профиля дипольных магнитов позволяет обеспечить высокое качество продукции, контроль размеров, допусков формы и взаимного расположения поверхности у магнитов с высокой точностью. Помимо этого, КИМ позволяют измерять отклонение формы кривых (второго и выше порядка), в том числе поверхности свободной формы [8].

Таким образом, применение КИМ для контроля профиля дипольных магнитов является эффективным способом обеспечить высокое качество продукции и повысить производительность производства [9, 10].

Для проведения анализа было рассмотрено два вида КИМ: Contura G2 10/21/6 с измерительным датчиком VAST XXT и Accurate Accord 30/60/20 с измерительным датчиком SP80 [11, 12].

Максимальная допустимая погрешность измерения длины для измерительных машин CONTURA G2 и Accurate Accord приведена в табл. 1.

Таблица 1

Тип КИМ	Максимальная допустимая погрешность измерения длины ($E_{l\text{MPE}}$), мкм
CONTURA G2 10/21/6	$\pm(1,9+L/300)$
Accurate Accord 30/60/20 (SP80)	$\pm(6+L/300)$

Предел допустимой погрешности средства измерения для использования, не должен превышать 25 % значения допуска объекта измерения (рис.1).

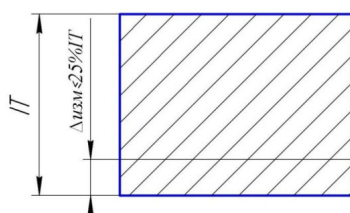


Рис. 1. Соотношение погрешности измерения и значения поля допуска

Анализ выполняется на примере магнита марки BDA, для его изготовления, требуется контроль на геометрическую точность основных сборочных единиц пластины и пакета полусердечника. Дипольный магнит BDA представлен на рис. 2.

Сравнительный анализ результатов измерений рассматриваемых устройств проводился на основе требований конструкторской документации и технических характеристик используемых машин.

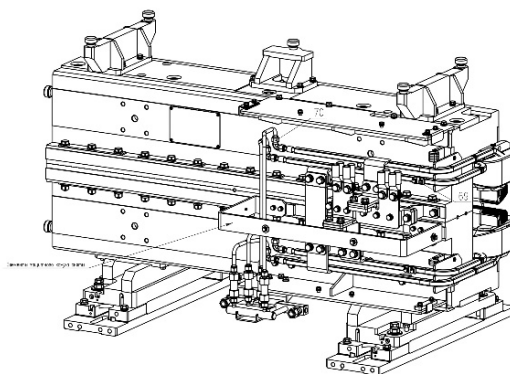


Рис. 2. Дипольный магнит марки BDA

Пластина полусердечника диполя – составной элемент из электротехнической стали с эпоксидным клеевым покрытием, получаемая путем вырубки из листа в безззорном штампе (рис. 3).

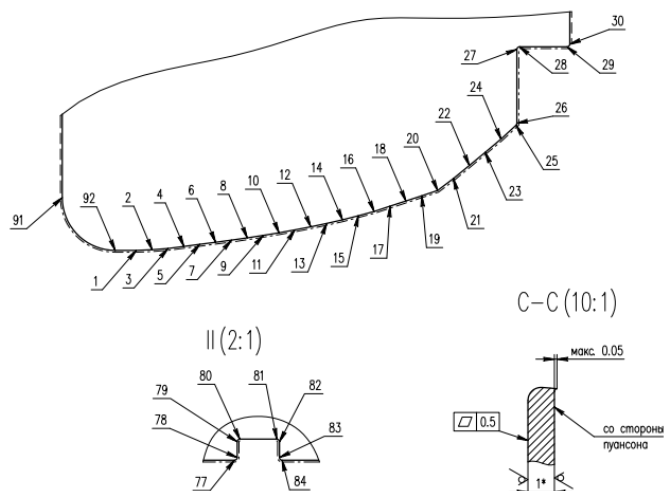


Рис. 3. Фрагмент пластины магнита BDA

Так как измерения происходят по нормали к поверхности, были выбраны точки контролируемого профиля с максимальным удалением от начала системы координат для оценки возможности измерения с требуемыми допусками.

Результаты

Анализируемые координаты точек чертежа «Пластина BDA», для определения возможности измерения с требуемыми допусками и результаты расчетов максимальной допустимой погрешности измерения длины представлены в табл. 2.

Координата X, точки 29, и Y в точке 91 не является контролируемым параметром, а указывает только на измерение в конкретной точке.

Исходя из данных табл. 2, делаем вывод, что погрешность КИМ Contura G2 входит в нормируемый диапазон.

Таблица 2

Координаты контролируемых точек, мкм	Поле допуска T, мкм	Предел допустимой погрешности Δ, мкм	Максимальная допустимая погрешность измерения длины (E _l MPE) для Contura G2	Максимальная допустимая погрешность измерения длины (E _l MPE) для Accurate Accord
49,000±0,01	20	5	2,1	6,2
-50,000±0,01	20	5	1,7	5,8

Пакет – это половина сердечника магнита, получаемая из пластин методом спекания и усилением ребрами жесткости. На рис. 4 представлен пакет полусердечника диполя BDA.

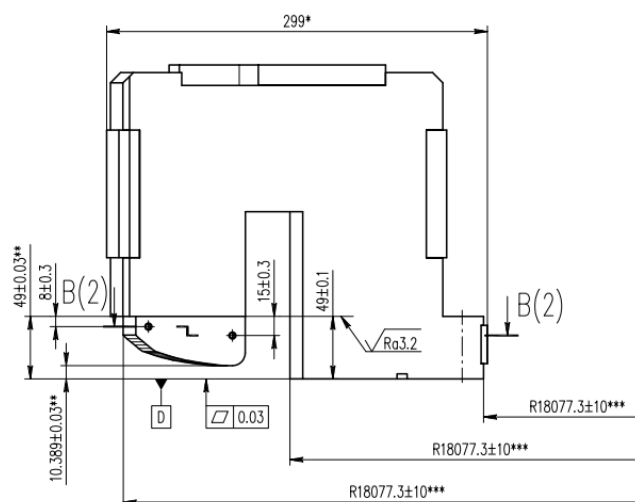


Рис. 4. Пакет BDA

Анализируемые размеры точек чертежа «Пакет BDA», должны быть проконтролированы в нескольких сечениях, вдоль оси X на общей длине 1170 мм. Размеры точек для определения возможности измерения применимости КИМ для контроля размеров с требуемыми допусками, и результаты расчетов максимальной допустимой погрешности измерения длины приведены в табл. 3.

Таблица 3

Размеры, мкм	Поле допуска T, мкм	Δ, мкм	E _{1 MPE} Contura G2	E _{1 MPE} Accurate Accord
10,389±0,03	60	15	1,9	6,1
49,000±0,03	60	15	2,1	6,2

Исходя из данных табл. 3, делаем вывод, что максимальная допустимая погрешность измерения длины двух КИМ входит в нормируемый диапазон.

Заключение

На основании проведенного анализа КИМ Contura G2 подходит для измерения как пластин BDA так и сердечников. Однако весогабаритные характеристики сердечника позволяют производить измерения одного пакета BDA на КИМ Contura G2, а на КИМ Accurate Accord, в одном измерительном объеме можно разместить 8 сердечников и автоматизировать процесс измерения.

Таким образом было выявлено, что оптимальным решением для контроля пластин и пакетов BDA является разделение контроля пластин BDA на машине Contura G2, пакетов на - Accurate Accord.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудряшова И.А., Белякова В.А Координатно-измерительные машины: сравнительный анализ характеристик, рекомендации по применению // Известия. – 2022. – С. 302-307.

2. Дипольный магнит – Dipole magnet – other.wiki [Электронный ресурс]. URL: https://ru.other.wiki/wiki/Dipole_magnet (дата обращения: 13.05.2021).
3. Брянкин С.Ю. Состояние и перспективы развития метрологического обеспечения крупногабаритных координатно-измерительных машин : автореф. дис. ... к-та тех. наук : 05.11.15 / Брянкин Сергей Юрьевич ; ФГУП «ВНИИМС». – М. : 2011. – 34 с.
4. Брянкин С.Ю., Лысенко В.Г. Контроль погрешности измерений больших координатно-измерительных машин // Инженерно-физические проблемы новой техники. – М. : 2010. – С. 78-80.
5. ГОСТ Р ИСО 10360-2-2017. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин : национальный стандарт Российской Федерации : введен 23.11.2017 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. – М. : Стандартинформ, 2018. – 3-20 с.
6. Косогоров, И. И. Совершенствование метрологического надзора на производстве : учеб. пособие для вузов / И. И. Косогоров, Т.Г. Кочан. – СПб. : НИУ ИТМО, 2014. – 103 с.
7. Пекарш А. И., Феоктистов С. И., Колыхалов Д. Г., Шпорт В. И. Координатно-измерительные машины и комплексы // CALS-технологии. – 2011. – № 3. – С. 36-48.
8. Кузнецова, Н. М. Управление качеством продукции / Н. М. Кузнецова. – М. : Инфра-М, 2019. – 175 с.
9. Гапшис А. А., Каспарайтис А. Ю., Модестов М.Б. Координатно-измерительные машины и их применение. – М. : Машиностроение, 1998. – С. 328.
10. Чапала О.В. Координатно-измерительные машины и их применения // Novainfo. – 2016. – №57. – С. 82-85.
11. Описание типа средств измерений. – ООО «СУППР» – эффективные системы тепло-снабжения. [Электронный ресурс] – URL: <https://media.belgim.by/grsi/7256.pdf>
12. Описание типа средств измерений. – Поверка измерительных приборов (технических средств) – Кто Поверит. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/90261-23.pdf?ysclid=lxgch97xdh295129234>

© Д. П. Бабкина, Г. В. Симонова, П. Н. Бурдин, 2024