

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202390938** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2023.06.30

(51) Int. Cl. **G21C 3/04** (2006.01)
G21C 17/06 (2006.01)
G21C 21/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.10.22

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТАБЛЕТОК ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

(31) **20306260.9**

(72) Изобретатель:

(32) **2020.10.22**

Фэяр Амори (BE), Тельйоханн Аксель (DE)

(33) **EP**

(86) **PCT/EP2021/079383**

(74) Представитель:

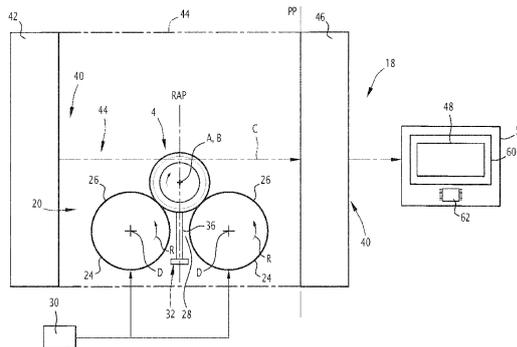
(87) **WO 2022/084523 2022.04.28**

Фелицына С.Б. (RU)

(71) Заявитель:

ФРАМАТОМ (FR)

(57) Предлагается система контроля, содержащая опорное устройство (20), предназначенное для поддержки топливной таблетки (4) или таблеток таким образом, чтобы ось (A) каждой топливной таблетки (4) совпадала с базовой осью (B), и оптическое измерительное устройство (40), выполненное с возможностью оптического измерения топливной таблетки (4) или таблеток, причем оптическое измерительное устройство (40) содержит светоизлучатель (42), выполненный с возможностью испускания светового пучка, распространяющегося вдоль оптической оси (C), и оптический датчик (46), предназначенный для приема светового пучка (44), при этом каждая топливная таблетка (4) перекрывает световой пучок (44) и создает тень, проецируемую на оптический датчик (46), причем оптическое измерительное устройство (40) содержит измерительный модуль (48), выполненный с возможностью анализа тени для обнаружения возможных дефектов на торцевых поверхностях (10) и/или боковой поверхности (8) каждой топливной таблетки (4).



A1

202390938

202390938

A1

СИСТЕМА И СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТАБЛЕТОК ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Настоящее изобретение относится к области производства топливных стержней, в частности, к контролю таблеток ядерного топлива перед введением в оболочку топливных стержней.

Тепловыделяющая сборка обычно представляет собой пучок топливных стержней. Каждый топливный стержень содержит трубчатую оболочку, вмещающую таблетки ядерного топлива (именуемые далее «топливными таблетками»), которые уложены в столбик внутри трубчатой оболочки. Топливные таблетки изготавливают из делящегося материала, например из обогащенного диоксида урана.

Каждая топливная таблетка, как правило, является симметричной относительно своей оси. Каждая топливная таблетка является цилиндрической и имеет по существу цилиндрическую боковую поверхность, а также две торцевые поверхности. Две торцевые поверхности, как правило, симметричны относительно срединной плоскости, перпендикулярной оси таблетки. Каждую топливную таблетку изготавливают, например, путем спекания порошка делящегося материала.

На торцевых поверхностях некоторых таблеток выполнено центральное углубление, окруженное буртиком, при этом буртик имеет кольцевую фаску, продолжающуюся между буртиком и, предпочтительно, цилиндрической боковой поверхностью топливной таблетки. Углубление, буртик и фаска соосны и центрированы относительно оси таблетки.

Топливные таблетки могут иметь дефекты в виде «поверхностных потерь» и/или выступов на торцевых поверхностях таблеток ядерного топлива.

Термин «поверхностные потери» относится к выкрашиваниям или вмятинам на топливных таблетках. К «поверхностным потерям» также относятся сколы на топливных таблетках, возникшие, например, в результате ударного воздействия в процессе обработки на производственных линиях.

Выступы могут представлять собой пузыри (выпуклости, выступающие из торцевой поверхности в осевом направлении и образовавшиеся в результате захвата газов спекаемым материалом), гребни (материал, выступающий в осевом направлении по периферии торцевой поверхности, например, в результате контакта таблеток в процессе спекания) и заусенцы (материал, выступающий в осевом направлении по периферии торцевой поверхности, например, в связи с дефектами прессового оборудования (в частности, сколами на пуансоне)).

Любой дефект топливной таблетки может негативно сказаться на топливном стержне, вмещающем топливные таблетки, и, соответственно, на тепловыделяющей сборке, содержащей указанные топливные стержни.

Перед введением в оболочку топливного стержня выполняют проверку топливных таблеток. С этой целью топливные таблетки подаются, например, к автоматизированной системе контроля, включающей конвейерную систему для индивидуальной транспортировки топливных таблеток. Указанные транспортировочные системы известны, например, из документов EP2133290A1 и EP2273508A1.

Для проверки торцевых поверхностей топливной таблетки автоматизированная система контроля может быть оснащена устройством захвата изображения (например, матричной камерой), предназначенным для захвата изображения торцевой поверхности топливной таблетки, транспортируемой конвейером, при этом анализ захваченных изображений производится в автоматическом режиме. Таким образом, торцевые поверхности топливных таблеток можно проверять во время транспортировки топливных таблеток с целью обнаружения дефектов в виде «поверхностной потери» или выступа. Оптическая ось устройства захвата изображения, например, коаксиальна оси таблетки и образует небольшой угол с осью таблетки, например, от 0° до 30° .

Однако при использовании указанной автоматизированной системы контроля достаточно сложно выполнить проверку торцевых поверхностей топливной таблетки, а именно, в области фаски или углубления, в связи с чем, полученные результаты вызывают сомнение. Фактически, фаска и впадина являются утопленными поверхностями по сравнению с буртиком и в связи с разной ориентацией освещаются поразному. Транспортирующая топливные таблетки поверхность(и), может, в свою очередь, влиять на условия освещения торцевых поверхностей таблеток. Существующий на торцевой поверхности дефект может быть отчетливо виден только в области буртика на переднем изображении торцевой поверхности, захваченном устройством захвата изображения, а на других изображениях дефект трудно обнаружить. Надежное распознавание «поверхностных потерь» торцевых поверхностей топливных таблеток в области фаски, которые обычно распространяются и на кромку таблетки, имеет особое значение для улучшения условий взаимодействия топливных таблеток с оболочкой топливных стержней в активных зонах ядерных реакторов. Кроме того, на переднем изображении торцевой поверхности в некоторых случаях достаточно трудно отличить «поверхностные потери» от выступа. Следовательно, дефект на топливных таблетках может быть не обнаружен или неправильно классифицирован («поверхностные потери» или выступ) и/или таблетки без дефекта могут быть ошибочно отбракованы.

Одной из основных задач изобретения является разработка системы контроля, обеспечивающей эффективную и надежную проверку таблеток ядерного топлива с высокой производительностью (например, десять таблеток в секунду).

Исходя из вышесказанного, в изобретении предлагается система контроля для проверки таблетки ядерного топлива, которая является симметричной относительно своей оси и имеет боковую поверхность, а также две торцевые поверхности, либо для проверки множества таблеток ядерного топлива, уложенных в столбик, причем система контроля содержит опорное устройство, приспособленное для поддержания топливной таблетки(ток) таким образом, чтобы ось каждой топливной таблетки совпадала с базовой осью, а также содержит оптическое измерительное устройство, выполненное с возможностью оптического измерения топливной таблетки(ток), при этом оптическое измерительное устройство содержит светоизлучатель, выполненный с возможностью испускания светового пучка, распространяющегося вдоль оптической оси, и оптический датчик, предназначенный для приема светового пучка, при этом каждая топливная таблетка перекрывает световой пучок, создавая тень, проецируемую на оптический детектор, причем оптическое измерительное устройство содержит измерительный модуль, выполненный с возможностью анализа тени для обнаружения возможных дефектов на торцевых поверхностях и/или на боковой поверхности каждой топливной таблетки.

Дефект в виде «поверхностной потери» на торцевой поверхности топливной таблетки, как правило, наблюдается на периферии указанной торцевой поверхности топливной таблетки, поскольку периферия торцевой поверхности в большей степени подвергается ударному воздействию при обработке таблеток на производственных линиях.

Дефект в виде выступа на торцевой поверхности топливной таблетки, как правило, наблюдается на периферии указанной торцевой поверхности топливной таблетки и связан со сколом на периферии кольцевой кромки пуансона, либо возникает в результате контакта буртиков таблеток в процессе спекания,

В топливной таблетке, имеющей на каждой торцевой поверхности центральное углубление, окруженное буртиком с фаской, указанные дефекты могут возникать, например, на буртике и/или фаске торцевой поверхности.

Таким образом, на виде сбоку топливная таблетка будет иметь аномальное очертание, связанное с дефектом, который может быть обнаружен с помощью оптического измерительного устройства, способного проецировать световой пучок на топливную таблетку в направлении, перпендикулярном оси таблетки, с измерением

геометрических параметров тени, создаваемой топливной таблеткой, которая перекрывает световой пучок.

Оптическое измерение таблетки ядерного топлива может быть выполнено в процессе перемещения таблетки ядерного топлива в направлении, параллельном оси таблетки, причем между оптическим измерительным устройством и таблеткой ядерного топлива поддерживается постоянное расстояние.

В конкретных вариантах осуществления изобретения система контроля имеет один или несколько из нижеперечисленных дополнительных признаков, взятых по отдельности или в любом технически возможном сочетании:

- измерительный модуль выполнен с возможностью измерения по меньшей мере одного геометрического параметра тени с целью обнаружения возможных дефектов на торцевых поверхностях и/или боковой поверхности каждой топливной таблетки;

- измерительный модуль выполнен с возможностью измерения по меньшей мере одного расстояния, относящегося к тени, по меньшей мере одной длины тени и/или по меньшей мере одной площади тени с целью обнаружения возможных дефектов на торцевых поверхностях и/или боковой поверхности каждой топливной таблетки;

- оптическая ось образует с плоскостью, перпендикулярной базовой оси, угол, который составляет от 0° до 45° , предпочтительно, от 0° до 25° ;

- оптическая ось по существу перпендикулярна базовой оси;

- опорное устройство выполнено с возможностью вращения каждой топливной таблетки вокруг своей оси;

- измерительное устройство выполнено с возможностью анализа тени в процессе по меньшей мере одного полного оборота каждой топливной таблетки, например, для анализа всей периферии каждой торцевой поверхности и/или всей периферии боковой поверхности каждой топливной таблетки;

- опорное устройство содержит два цилиндрических ролика, параллельных друг другу, причем ролики выполнены с возможностью приема топливной таблетки(ток), которые размещаются на двух роликах, при этом ось каждой топливной таблетки параллельна оси роликов;

- два ролика могут вращаться в одном и том же направлении, например, для вращения топливной таблетки или столбика топливных таблеток, размещенного на двух роликах, вокруг оси таблетки;

- система контроля выполнена с возможностью перемещения топливной таблетки(ток) вдоль базовой оси;

- система контроля содержит толкающее устройство, содержащее, по меньшей мере, один толкатель, выполненный с возможностью перемещения топливной таблетки относительно опорного устройства, например, для продвижения топливной таблетки(ток) вдоль базовой оси;

- опорное устройство выполнено с возможностью перемещения топливной таблетки(ток) вдоль базовой оси при вращении каждой топливной таблетки вокруг своей оси, причем протяженность светового пучка в направлении базовой оси превышает длину топливной таблетки(ток) плюс расстояние, пройденное топливной таблеткой(ток) вдоль базовой оси в процессе по меньшей мере одного полного оборота топливной таблетки вокруг своей оси;

- световой пучок является линейным, а тень, создаваемая каждой топливной таблеткой, имеет форму сегмента, причем измерительный модуль выполнен с возможностью измерения длины тени, создаваемой каждой топливной таблеткой, с целью определения соответствующей длины топливной таблетки и выявления наличия дефектов на торцевых поверхностях и/или боковой поверхности топливной таблетки;

- световой пучок является двумерным, при этом каждая топливная таблетка создает двумерную тень;

- измерительный модуль выполнен с возможностью измерения по меньшей мере одной длины тени, создаваемой каждой топливной таблеткой, с целью определения соответствующей длины топливной таблетки между торцевыми поверхностями топливной таблетки;

- измерительный модуль выполнен с возможностью анализа тени, создаваемой каждой топливной таблеткой, включающего определение положения поперечной плоскости топливной таблетки для измерения по меньшей мере одного осевого расстояния между поперечной плоскостью и одной стороной контура тени, соответствующей одной торцевой поверхности;

- измерительный модуль выполнен с возможностью определения положения срединной поперечной плоскости топливной таблетки и измерения длины тени, создаваемой каждой топливной таблеткой, между срединной плоскостью и указанной стороной контура тени с целью определения соответствующей длины топливной таблетки;

- измерительный модуль выполнен с возможностью анализа тени, создаваемой по меньшей мере одной торцевой поверхностью или каждой торцевой поверхностью каждой топливной таблетки, включающего определение относительно торцевой поверхности положения концевой поперечной плоскости, которая перпендикулярна оси топливной

таблетки, для вычисления по меньшей мере одного осевого расстояния между концевой поперечной плоскостью и стороной контура тени, соответствующей указанной торцевой поверхности:

- концевая поперечная плоскость позиционирована таким образом, чтобы она в одной точке контактировала со стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности, или являлась касательной к линии контура тени, соответствующей торцевой поверхности;

- измерительный модуль выполнен с возможностью расчета нескольких осевых расстояний областей, расположенных на нескольких дискретных радиальных расстояниях относительно оси топливной таблетки, и/или расчета расстояния между торцевой поверхностью и концевой поперечной плоскостью на измеряемом участке стороны контура тени, соответствующей торцевой поверхности;

- измеряемый участок продолжается радиально наружу и/или радиально внутрь относительно наружной кромки торцевой поверхности от линии пересечения концевой поперечной плоскости со стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности;

- измерительный модуль выполнен с возможностью создания 3D-карты по меньшей мере одного участка по меньшей мере одной из торцевых поверхностей каждой топливной таблетки на основании анализа тени, создаваемой топливной таблеткой(ами);

- измерительный модуль выполнен с возможностью формирования файла 3D-изображения в соответствии с 3D-картой, в котором закодировано 3D-изображение торцевой поверхности, и/или выполнен с возможностью создания файла 2D-изображения, на основании 3D-карты, в котором закодировано 2D-изображение;

- измерительный модуль выполнен с возможностью обнаружения «поверхностной потери» на торцевой поверхности каждой топливной таблетки и/или выступа на торцевой поверхности каждой топливной таблетки и/или с возможностью обнаружения концевого скола между одной из торцевых поверхностей и боковой поверхностью каждой топливной таблетки.

В изобретение также предлагается способ контроля таблетки ядерного топлива, симметричной относительно своей оси, с использованием указанной выше системы контроля.

Изобретение и его преимущества будут более понятны после прочтения следующего описания, которое представлено исключительно в качестве неограничительного примера со ссылкой на прилагаемые чертежи.

Фиг. 1 – вид в частичном разрезе топливного стержня, на котором показана топливная таблетка.

Фиг. 2 – вид спереди торцевой поверхности топливной таблетки.

Фиг. 3 – схематический вид спереди системы контроля, содержащей конвейер для транспортировки топливной таблетки и оптическое измерительное устройство.

Фиг. 4 – схематический вид сбоку конвейера.

Фиг. 5 – схематический вид в перспективе конвейера и оптического измерительного устройства.

Фиг. 6 – тень, создаваемая топливной таблеткой, транспортируемой конвейером в оптическом измерительном устройстве, которое выполняет геометрические измерения указанной тени.

Фиг. 7 – тень, создаваемая топливной таблеткой, транспортируемой конвейером в оптическом измерительном устройстве, которое выполняет геометрические измерения указанной тени.

Фиг. 8 – тень, создаваемая топливной таблеткой, транспортируемой конвейером в оптическом измерительном устройстве, которое выполняет геометрические измерения указанной тени.

Фиг. 9 – тень, создаваемая топливной таблеткой, транспортируемой конвейером в оптическом измерительном устройстве, которое выполняет геометрические измерения указанной тени.

Фиг. 10 – схематический вид в перспективе конвейера и другого оптического измерительного устройства.

Фиг. 11 – вид спереди топливной таблетки, иллюстрирующий положение относительно топливной таблетки светового пучка, генерируемого оптическим измерительным устройством, показанным на фиг. 10.

Фиг. 12 – вид в перспективе таблетки, имеющей дефекты на торцевой поверхности («поверхностные потери»).

Фиг. 13 – 15 – графики зависимости расстояний, измеренных на таблетке, показанной на фиг. 12, от угла поворота таблетки.

Фиг. 16 – тень, создаваемая топливными таблетками, уложенными в столбик и транспортируемыми конвейером в оптическом измерительном устройстве, которое выполняет геометрические измерения тени некоторых топливных таблеток.

Фиг. 17 – тень, создаваемая топливной таблеткой, которая имеет дефект в виде концевого скола.

Топливный стержень 2, показанный на фиг. 1, содержит столбик таблеток 4 ядерного топлива (именуемых далее «топливными таблетками»), заключенный в трубчатую оболочку 6. Каждая топливная таблетка 4 изготовлена из делящегося материала, например обогащенного диоксида урана.

На фиг. 1 одна топливная таблетка 4 показана в поперечном разрезе, а очертания других топливных таблеток 4 показаны штрихпунктирными линиями.

Каждая топливная таблетка 4 является симметричной относительно оси А таблетки. Каждая топливная таблетка 4 имеет боковую поверхность 8 и две торцевые поверхности 10. Боковая поверхность 8, предпочтительно, имеет цилиндрическую форму и окружает ось А таблетки.

Две торцевые поверхности 10, предпочтительно, симметричны относительно срединной плоскости Т топливной таблетки 4. Срединная плоскость Т перпендикулярна оси А таблетки.

Каждая торцевая поверхность 10 имеет, например, центральное углубление 12, буртик 14 и периферийную фаску 16. Углубление 12, буртик 14 и периферийная фаска 16 являются концентрическими. Буртик 14 является кольцевым и окружает углубление 12. Фаска 16 является кольцевой и окружает буртик 14.

Углубление 12 имеет, например, вогнутую полусферическую поверхность. Углубление 12 каждой торцевой поверхности 10 представляет собой центральную впадину на указанной торцевой поверхности 10, при этом указанная впадина окружена буртиком 14. Углубление 12 каждой торцевой поверхности 10 не видно на изображении сбоку топливной таблетки 4, поскольку оно скрыто участком буртика 14.

Буртик 14 каждой торцевой поверхности 10 имеет, например, коническую форму и центрирован относительно оси А таблетки или продолжается в плоскости, перпендикулярной оси А таблетки. Следует отметить, что буртик 14 имеет, например, лишь небольшую конусность. Угол между буртиком 14 и плоскостью, перпендикулярной оси А таблетки, составляет, например, от 0° до 5° .

Фаска 16 является конической и центрирована относительно оси А таблетки. Фаска 16 имеет угол наклона относительно буртика 14 и относительно боковой поверхности 8. Фаска 16 продолжается между боковой поверхностью 8 и буртиком 14. Фаска 16 видна на изображении сбоку топливной таблетки 4.

Угол между фаской 16 и плоскостью, перпендикулярной оси А таблетки, строго больше угла между буртиком 14 и указанной плоскостью.

Как показано на фиг. 2, иллюстрирующей вид спереди топливной таблетки 4, торцевая поверхность 10 характеризуется первой окружностью С1, разграничивающей

центральное углубление 12 и буртик 14, и второй окружностью C2 разграничивающей буртик 14 и фаску 16. Углубление 12 ограничивается первой окружностью C1. Буртик 14 продолжается между первой окружностью C1 и второй окружностью C2, а фаска 16 расположена снаружи второй окружности C2.

Углубление 12 имеет наружный радиус, равный первому радиусу R1 (радиусу первой окружности C1), буртик 14 имеет внутренний радиус, равный первому радиусу R1, и наружный радиус, равный второму радиусу R2 (радиусу второй окружности C2), а фаска 16 имеет внутренний радиус, равный второму радиусу R2, и наружный радиус, равный третьему радиусу R3.

Система 18 контроля, представленная на фиг. 3 и 4, выполнена с возможностью автоматизированного контроля топливной таблетки 4.

Система 18 контроля содержит опорное устройство 20, приспособленное для поддержания топливной таблетки 4 таким образом, чтобы ось A таблетки совпадала с базовой осью B. Базовая ось B перпендикулярна плоскости фиг. 3.

Опорное устройство 20 выполнено таким образом, чтобы оно не препятствовало обзору по меньшей мере некоторой части топливной таблетки 4 при рассмотрении вдоль оптической оси C. Однако, при рассмотрении вдоль оптической оси C некоторая часть топливной таблетки 4 может быть заслонена опорным устройством 20.

Опорное устройство 20 содержит, например, два цилиндрических ролика 24, расположенных параллельно друг другу. Каждый ролик 24 продолжается вдоль соответствующей оси D ролика. Оси D роликов параллельны. Ось D каждого ролика параллельна базовой оси B. Предпочтительно, оси D роликов по существу горизонтальны.

Каждый ролик 24 имеет цилиндрическую наружную поверхность 26. Предпочтительно, указанные ролики 24 имеют одинаковый наружный диаметр. Ролики 24 расположены таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом. Между двумя роликами 24 имеется зазор 28.

Два ролика 24 позиционированы относительно друг друга таким образом, что при рассмотрении поддерживаемой двумя роликами 24 топливной таблетки 4 сбоку, перпендикулярно базовой оси B, была видна выступающая над роликами 24 часть топливной таблетки 4 (фиг. 4).

Если требуется, опорное устройство 20 содержит приводное устройство 30, предназначенное для приведения роликов 24 во вращение вокруг соответствующих осей D роликов в одном и том же направлении, как показано стрелками R на фиг. 3, 5 и 10. Таким образом, топливная таблетка 4, опирающаяся на ролики 24, может приводиться во

вращение вокруг своей оси А в направлении, противоположном направлению вращения роликов.

Если требуется, опорное устройство 20 содержит перемещающее устройство 32 (фиг.4), выполненное с возможностью перемещения топливной таблетки 4 в осевом направлении вдоль роликов 24 (направо, как показано стрелкой F на фиг. 4).

Перемещающее устройство 32 содержит, например, толкатель 34, который приводится в поступательное движение вдоль роликов 24, при этом толкатель 34 содержит шток 36, проходящий через зазор 28, образованный между роликами 24, и имеет толкающую головку 38, выполненную с возможностью контакта с торцевой поверхностью 10 топливной таблетки 4 для проталкивания топливной таблетки 4 в осевом направлении вдоль роликов 24.

Согласно иллюстративному примеру, толкатель 34, предпочтительно, позиционирован, таким образом, чтобы толкающая головка 38 контактировала с центром углубления 12 указанной торцевой поверхности 10 таблетки 4, поддерживаемой роликами 24.

Перемещающее устройство 32 может содержать несколько толкателей 34, приводимых в движение конвейером (не показан) для одновременного перемещения нескольких таблеток 4 вдоль роликов 24, как описывается в документе EP 2273508 A1.

Система 18 контроля содержит оптическое измерительное устройство 40 (фиг. 3), предназначенное для измерения геометрических параметров топливной таблетки 4, поддерживаемой опорным устройством 20.

Оптическое измерительное устройство 40 содержит светоизлучатель 42, выполненный с возможностью испускания светового пучка 44, распространяющегося вдоль оптической оси С, и оптический датчик 46, предназначенный для приема светового пучка 44.

Предпочтительно, оптическая ось С перпендикулярна базовой оси В.

Световой пучок 44, предпочтительно, представляет собой параллельный световой пучок. Световые лучи светового пучка 44 параллельны друг другу и оптической оси С.

Светоизлучатель 42 и оптический датчик 46 расположены с разных сторон опорного устройства 20, при этом таблетка 4, поддерживаемая опорным устройством 20, располагается между светоизлучателем 42 и оптическим датчиком 46. Таблетка 4, поддерживаемая опорным устройством 20 перекрывает часть светового пучка 44.

Когда таблетка 4 перекрывает световой пучок 44, таблетка 4 проецирует на оптический датчик 46 тень, контур которой соответствующую контуру таблетки 4 при рассмотрении вдоль оптической оси С.

Световой детектор 46 выполнен с возможностью обнаружения части пучка, которая не была перекрыта топливной таблеткой 4, и части светового пучка 44, которая была перекрыта топливной таблеткой 4, то есть тени, создаваемой таблеткой 4.

Указанное оптическое измерительное устройство иногда называют оптическим измерительным устройством «прямого пучка» или «сквозного пучка», поскольку оно содержит светоизлучатель 42 для испускания светового пучка 44 в сторону оптического детектора 46, причем подлежащий измерению объект располагается на пути светового пучка 44.

Светоизлучатель 42, предпочтительно, выполнен таким образом, чтобы протяженность улавливаемого оптическим датчиком 46 светового пучка 44 вдоль базовой оси В, превышала расчетную длину таблетки 4 вдоль оси А таблетки. Следовательно, световой пучок 44 может перекрываться по всей длине таблетки 4.

Как описывается ниже, в процессе измерений топливная таблетка 4 может вращаться и перемещаться в осевом направлении, при этом протяженность светового пучка 44, предпочтительно, превышает длину топливной таблетки 4 плюс осевое расстояние, пройденное топливной таблеткой 4 вдоль опорного устройства 20 в процессе по меньшей мере одного полного оборота топливной таблетки 4 вокруг своей оси А.

Оптическое измерительное устройство 40 содержит измерительный модуль 48, выполненный с возможностью обнаружения дефектов на торцевых поверхностях 10 топливной таблетки 4 посредством анализа тени, создаваемой или проецируемой топливной таблеткой 4 на оптический датчик 46, в частности, посредством измерения геометрических параметров тени, создаваемой или проецируемой топливной таблеткой 4 на оптический датчик 46.

Конкретнее говоря, оптический датчик 46 выполнен с возможностью создания файла изображения тени, обнаруженной оптическим датчиком 46, причем измерительный модуль 48 выполнен с возможностью обработки файла изображения для анализа тени, в частности, посредством измерения геометрических параметров тени.

Например, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения по меньшей мере, одного осевого расстояния тени (измеренного вдоль оси А таблетки), по меньшей мере одной длины тени (измеренной вдоль оси А таблетки) и/или по меньшей мере одной площади тени, как будет описываться ниже.

Согласно варианту осуществления изобретения, представленному на фиг. 5, светоизлучатель 42 выполнен с возможностью испускания светового пучка 44, имеющего двумерную форму в поперечном сечении, то есть в плоскости, перпендикулярной оптической оси С.

Светоизлучатель 42 имеет светоизлучающую поверхность 50, имеющую форму поперечного сечения светового пучка 44. Оптический датчик 46 имеет светочувствительную поверхность 52, имеющую форму светового пучка 44. Светочувствительная поверхность 52 простирается в плоскости РР проекции.

Указанное оптическое измерительное устройство именуют «профильным оптическим микрометром», «двумерным оптическим микрометром» или «профилометром». Светоизлучатель 42 и оптический датчик 46 именуют, соответственно. «профильным» светоизлучателем 42 и «профильным» оптическим датчиком 46.

Двумерный световой пучок 44 имеет в поперечном сечении, например, форму круга. Световые пучки могут иметь другую форму, например, прямоугольную.

Как показано на фиг. 6, световой пучок 44 проецирует двумерную тень освещенного участка таблетки 4 на оптический датчик 46, более конкретно, на светочувствительную поверхность 52 оптического датчика 46. Контур тени соответствует контуру участка таблетки 4, поддерживаемой опорным устройством 20, который освещается световым пучком 44.

Согласно иллюстративному примеру, контур тени соответствует контуру участка топливной таблетки 4, выступающего над роликами 24, при этом нижний участок таблетки 4 заслоняется роликами 24.

Принято считать, что ось А топливной таблетки 4, поддерживаемой опорным устройством 20, совпадает с базовой осью В, таким образом, при измерении геометрических параметров тени положение оси А таблетки известно.

Как показано на фиг. 6 – 8, измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью определения по меньшей мере одной длины топливной таблетки 4 вдоль оси А таблетки посредством измерения соответствующей длины тени топливной таблетки 4, проецируемой на оптический датчик 46.

Измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения, в частности, длины тени вдоль оси А таблетки между двумя сторонами контура тени, создаваемой торцевыми поверхностями 10 топливной таблетки 4.

Как более подробно показано на фиг. 6, измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью измерения длины L1 тени топливной таблетки 4 вдоль оси А таблетки на расстоянии M1 от оси А таблетки, которое равно или превышает внутренний радиус буртика 14 (первый радиус R1) и равно или меньше наружного радиуса буртика 14 (второго радиуса R2).

При радиальном расстоянии M1 от оси А таблетки длина L1 тени, проецируемой на оптический датчик 46, соответствует расстоянию между двумя выровненными по оси

участками буртика торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4, которые расположены на базовой осевой плоскости RAP, содержащей ось A таблетки и перпендикулярной оптической оси C.

Таким образом, длина L1 тени, измеренная на указанном радиальном расстоянии M1, соответствует расстоянию от буртика до буртика топливной таблетки 4 в конкретном угловом положении при повороте вокруг оси A таблетки, более конкретно, в угловом положении на базовой осевой плоскости RAP.

На расстоянии от оси A таблетки, которое меньше внутреннего радиуса буртика 14 (первого радиуса R1), тень является нечеткой, поскольку каждая сторона тени может соответствовать двум разнесенным по окружности угловым секторам одного и того же буртика 14. Дефект, в виде «поверхностной потери» только на одном из двух секторов, не может быть обнаружен, поскольку перекрывается другим сектором на профиле, проецируемом на оптический датчик 46.

Измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью измерения длины L2 тени таблетки 4 вдоль оси A таблетки на радиальном расстоянии M2 от оси A таблетки, которое равно или превышает внутренний радиус фаски 16 (второй радиус R2) и равно или меньше наружного радиуса фаски 16 (третьего радиуса R3).

На указанном радиальном расстоянии M2 от оси A таблетки длина тени, проецируемой на оптический датчик 46, соответствует расстоянию между двумя осевыми участками фасок 16 торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4, которые расположены на базовой осевой плоскости RAP.

Таким образом, длина тени, измеренная на указанном радиальном расстоянии M2, соответствует расстоянию от фаски до фаски топливной таблетки 4, занимающей определенное угловое положение при повороте вокруг оси A таблетки, точнее говоря, на базовой осевой плоскости RAP.

На расстоянии от оси A таблетки, меньшем внутреннего радиуса фаски 16 (второго радиуса R2), длина профиля соответствует длине таблетки 4 между буртиками 14 торцевых поверхностей 10.

Как показано на фиг. 7, альтернативно или, если требуется, измерительный модуль 48 может быть выполнен с возможностью определения положения срединной поперечной плоскости MTP топливной таблетки 4 на тени, создаваемой топливной таблеткой 4, и для измерения по меньшей мере одной длины тени между срединной поперечной плоскостью MTP и стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности 10 топливной таблетки 4, с целью определения длины топливной таблетки 4.

При рассмотрении вдоль оптической оси C контур тени освещаемой части топливной таблетки 4 имеет две боковые стороны, соответствующие профилю торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4.

В одном примере измерительный модуль 48 определяет положение срединной поперечной плоскости МТР в зависимости от участков двух боковых сторон тени, соответствующих торцевым поверхностям 10 топливной таблетки 4.

Согласно одному из примеров, в котором каждая торцевая поверхность 10 топливной таблетки 4 имеет углубление 12, буртик 14 и фаску 16, с каждой стороны контура тени отображается участок углубления, простирающийся между осью A таблетки и первым радиусом $R1$, причем углубление находится в тени буртика 14, отображаемый участок буртика простирается между первым радиусом $R1$ и вторым радиусом $R2$ в соответствии с профилем буртика 14, а отображаемый участок фаски простирается между вторым радиусом $R2$ и третьим радиусом $R3$ в соответствии с профилем фаски 16.

Отображаемые участки сторон углубления параллельны. Отображаемые участки буртика торцевой поверхности не параллельны, когда буртик 14 является коническим, или параллельны, когда буртик 14 является плоским. Отображаемые участки фаски торцевой поверхности не параллельны в связи с конусообразностью фасок 16 торцевых поверхностей 10.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 определяет на тени положение срединной плоскости МТР как находящейся между двумя параллельными участками боковых сторон контура тени, соответствующих торцевым поверхностям 10 топливной таблетки 4.

Как показано на фиг. 7, несмотря на то, что толкатель 38 тоже проецирует тень на оптический датчик 46, измерительный модуль 48 способен обнаружить на контуре тени прилегающий к толкателю участок углубления.

Измерительный модуль 48 выполнен с возможностью, например, измерения длины $L11$, $L12$ тени топливной таблетки 4 вдоль оси A таблетки между срединной поперечной плоскостью МТР и каждой стороной тени на радиальном расстоянии $M1$ от оси A таблетки, которое равно или превышает внутренний радиус буртика 14 (первый радиус $R1$) и равно или меньше наружного радиуса буртика 14 (второго радиуса $R2$).

Длины $L11$, $L12$ тени, измеренные на указанном расстоянии $M1$, таким образом, соответствуют длинам от буртика до срединной поперечной плоскости топливной таблетки 4, при конкретном угловом положении относительно оси A таблетки, точнее говоря, при положении в базовой осевой плоскости RAP .

Измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью измерения длин L21, L22 тени таблетки 4 вдоль оси А таблетки между срединной поперечной плоскостью Т (МТР) и каждой стороной тени на радиальном расстоянии М2 от оси А таблетки, которое равно или превышает внутренний радиус фаски 16 (второй радиус R2) и равно или меньше наружного радиуса фаски 16 (третьего радиуса R3).

Указанные длины L21, L22 тени соответствуют расстояниям от фаски до срединной поперечной плоскости топливной таблетки 4, при конкретном угловом положении относительно оси А таблетки, точнее говоря, при видимом угловом положении, которое является положением в базовой осевой плоскости RАР.

Измерение длины тени от срединной поперечной плоскости МТР до боковых сторон контура тени позволяет выявлять соответствующие дефекты торцевых поверхностей 10. Положение срединной поперечной плоскости МТР используется в качестве базы. При измерении длины между двумя участками торцевых поверхностей 10 полученная длина является относительной, и она не позволит должным образом классифицировать дефекты в определенных случаях, например, когда участок одной из торцевых поверхностей 10 имеет «поверхностную потерю», а соответствующий участок другой торцевой поверхности 10 имеет выступ.

Как показано на фиг. 6 или фиг. 7, дефект в виде «поверхностной потери» 16В на фаске 16 торцевой поверхности 10 таблетки 4, может быть автоматически обнаружен, если расстояние от фаски до фаски или расстояние от фаски до срединной поперечной плоскости, измеренное посредством измерительного модуля 48, несколько меньше расчетного расстояния от фаски до фаски или расчетного расстояния от фаски до средней поперечной плоскости, например, отличается от расчетного расстояния на величину Е или Е1.

Как показано на фиг. 8, дефект в виде выступа 16С на фаске 16 торцевой поверхности 10 таблетки 4, может быть автоматически обнаружен, если расстояние от фаски до фаски или расстояние от фаски до срединной поперечной плоскости, измеренное посредством измерительного модуля 48, несколько больше расчетного расстояния от фаски до фаски или расчетного расстояния от фаски до средней поперечной плоскости, например, отличается от расчетного расстояния на величину Е2.

Специалистам в данной области техники понятно, что дефект на буртике торцевой поверхности 10, расположенном на базовой осевой плоскости RАР, можно обнаружить аналогичным образом, если измеренное расстояние от буртика до буртика или от буртика до срединной поперечной плоскости больше или меньше расчетного расстояния от буртика до буртика или от буртика до срединной поперечной плоскости.

Если требуется или альтернативно, измерительный модуль 48 может быть выполнен с возможностью измерения площади тени, создаваемой освещенной частью топливной таблетки 4.

Измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью измерения площади тени между двумя сторонами контура тени, соответствующими торцевым поверхностям 10 топливной таблетки 4.

Если требуется или альтернативно, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения площади тени между срединной поперечной плоскостью МТР и каждой стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности 10 топливной таблетки 4. Таким образом, измерительный модуль 48 вычисляет две площади тени от торцевой поверхности до срединной поперечной плоскости.

Дефект («поверхностная потеря» или выступ) на периферийном участке торцевой поверхности 10, расположенном на базовой осевой плоскости RAR, изменяет тень, создаваемую топливной таблеткой 4, которая будет иметь площадь меньше расчетной («поверхностная потеря»), или больше расчетной (выступ).

Как показано на фиг. 9, альтернативно или если требуется, измерительный модуль 48 может быть выполнен с возможностью анализа тени, создаваемой топливной таблеткой 4, с определением по меньшей мере для одной из торцевых поверхностей 10 по меньшей мере одного осевого расстояния D1, D2, D3 (по оси А топливной таблетки) между концевой поперечной плоскостью ЕТР, связанной с этой торцевой поверхностью 10, и стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности 10.

Концевая поперечная плоскость ЕТР представляет собой, например, плоскость, которая проходит перпендикулярно оси А топливной таблетки, является касательной к кромке торцевой поверхности 10 или пересекает кромку торцевой поверхности 10.

Измерительный модуль 48, например, выполнен с возможностью позиционирования концевой поперечной плоскости ЕТР относительно тени таким образом, чтобы концевая поперечная плоскость ЕТР являлась касательной или пересекала сторону контура тени, соответствующую торцевой поверхности 10, на определенном радиальном расстоянии от оси А топливной таблетки.

Выбирается конкретное радиальное расстояние, например, так, что концевая поперечная плоскость ЕТР является касательной или пересекает сторону контура тени в точке участка буртика, соответствующего внутреннему краю буртика 14; промежуточной точке участка буртика, расположенного между внутренним краем буртика 14 и наружным краем буртика 14; в точке участка буртика, соответствующего наружному краю буртика

14; в точнее участка фаски; в точке участка фаски, соответствующего наружному краю торцевой поверхности 10; или на участке углубления.

Согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения, как показано на фиг. 9, концевая поперечная плоскость ЕТР является касательной в точке участка буртика, соответствующего внутреннему краю буртика 1, или в точке проекции участка углубления, стороны контура тени.

При отсутствии дефекта, как показано на фиг. 9, точка участка буртика, соответствующего внутреннему краю буртика 14, и участок углубления определяют одну и ту же концевую поперечную плоскость ЕТР.

Использование указанной концевой поперечной плоскости ЕТР является целесообразным, поскольку дефект в виде выступа не будет пересекать эту концевую поперечную плоскость ЕТР. В ином случае, может быть образован зазор с соседней таблеткой в столбике таблеток в топливном стержне, что будет неблагоприятно сказываться на работе топливного стержня.

Кроме того, при существенном размере выступа или «поверхностных потерь» положение концевой поперечной плоскости ЕТР может быть нестабильным, что приводит к ошибочным измерениям (например, к ошибочным измерениям осевых расстояний D1, D2 и D3). Чем ближе точка, используемая для построения концевой поперечной плоскости ЕТР к оси таблетки, тем больше вероятность того, что концевая поперечная плоскость ЕТР будет стабильной.

Каждое осевое расстояние D1, D2 и D3 определяют как расстояние вдоль оси А топливной таблетки, измеренное между концевой поперечной плоскостью ЕТР и стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности 10, на соответствующем радиальном расстоянии M1, M2, M3 от оси А топливной таблетки.

Измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения, например, нескольких осевых расстояний D1, D2, D3 на дискретных радиальных расстояниях M1, M2, M3 от оси А топливной таблетки.

Измерительный модуль 48 выполнен с возможностью, например, измерения первого осевого расстояния D1 на первом радиальном расстоянии M1, второго осевого расстояния D2 на втором радиальном расстоянии M2 и/или третьего осевого расстояния D3 на третьем радиальном расстоянии M3.

Например, выбранное первое радиальное расстояние M1 соответствует буртику 14, выбранное второе радиальное расстояние M2 соответствует фаске 16, а выбранное третье радиальное расстояние M3 соответствует наружной кромке торцевой поверхности 10, т.е. в этом примере, месту соединения между фаской 16 и боковой поверхностью 8 топливной

таблетки 4. Третье радиальное расстояние $M3$ в данном случае равно третьему радиусу $R3$.

Как показано на фиг. 9, торцевые поверхности 10 таблетки 4 имеют небольшие конусные буртики 14. Это позволяет проиллюстрировать пример с ненулевым первым осевым расстоянием $D1$. В другом примере буртики 14 могут быть радиальными, то есть каждый буртик 14 простирается в плоскости, перпендикулярной оси A таблетки, при этом первое осевое расстояние $D1$ предполагается равным приблизительно нулю.

Согласно альтернативному варианту осуществления изобретения, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения аксиального расстояния относительно концевой поперечной плоскости ETP на всей длине измеряемого участка MP боковой стороны контура тени, соответствующей торцевой поверхности 10, при этом указанный измеряемый участок MP расположен между двумя радиальными расстояниями относительно оси A топливной таблетки, например как показано здесь, между первым радиальным расстоянием $M1$ и третьим радиальным расстоянием $M3$

Использование срединной поперечной плоскости MTP и/или концевой поперечной плоскости ETP в качестве базы для расчета расстояний, длин и/или площадей позволяет улучшить классификацию дефектов, например, в случаях, если одна из торцевых поверхностей имеет дефект в виде «поверхностной потери», а другая торцевая поверхность имеет дефект в виде выступа.

Если требуется, измерительный модуль 48 может быть приспособлен контролировать правильность положения концевой поперечной плоскости ETP посредством измерения общей длины топливной таблетки 4 в самой нижней точке обзора (то есть на ближайшем расстоянии от оси A топливной таблетки, когда контур топливной таблетки 4 проецируется без искажения или экранирования опорным устройством 20 и/или перемещающим устройством 32).

Согласно одному из иллюстративных вариантов осуществления изобретения, измерительный модуль 48 выполнен таким образом, что если обнаруживается отклонение полной длины топливной таблетки 4 на внутреннем крае буртика 14 или в углублении 12, тогда эти измерения не авторизуются и топливная таблетка 4 отбраковывается. Фактически, указанное отклонение может быть связано с наличием существенного дефекта («поверхностной потери» или выступа) на буртике или в области углубления.

Согласно варианту осуществления изобретения, представленному на фиг. 10, светоизлучатель 42 выполнен с возможностью испускания светового пучка 44, являющегося одномерным в поперечном сечении, то есть в плоскости, перпендикулярной оптической оси C .

Световой пучок 44, предпочтительно, имеет форму прямолинейного участка в поперечном сечении. Прямолинейный участок простирается параллельно оси А топливной таблетки 4, поддерживаемой опорным устройством 20.

Светоизлучатель 42 имеет светоизлучающий участок 54, придающий форму световому пучку 44. Оптический датчик 46 имеет светочувствительную участок 56, имеющую форму светового пучка 44.

Указанное оптическое измерительное устройство 40 именуют «линейным оптическим микрометром». Светоизлучатель 42 и оптический датчик 46 именуют, соответственно, линейным светоизлучателем 42 и линейным оптическим датчиком 44.

В качестве оптического измерительного устройства 40 могут быть использованы приборы Micro-Epsilon optoCONTROL 2520 или Keyence Series LS-9000.

Световой пучок 44 испускается на участок таблетки 4, вследствие чего световой пучок 44 по своей длине пересекается таблеткой 4, при этом длина тени, создаваемой или проецируемой таблеткой 4, на оптический датчик 46, соответствует кажущейся длине этого освещенного участка таблетки 4.

Измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения длины освещаемого участка топливной таблетки 4 в зависимости от светового излучения, обнаруженного оптическим датчиком 46, и, в частности, в зависимости от длины участка светового пучка 44, который был перекрыт топливной таблеткой 4.

Как показано на фиг. 11, световой пучок 44 пересекает базовую плоскость RP на радиальном расстоянии M1 или M2 от оси А таблетки.

Световой пучок 44 испускается на таблетку 4, поддерживаемую опорным устройством 20, например, на радиальном расстоянии M1 от оси А таблетки, которое равно или превышает внутренний радиус буртика 14 (первый радиус R1) и равно или меньше наружного радиуса буртика 14 (второго радиуса R2).

На радиальном расстоянии M1 от оси А таблетки длина перекрытого светового пучка 44 соответствует расстоянию между двумя выровненными по оси участками торцевых поверхностей 10 таблетки 4, которые расположены по существу на базовой осевой плоскости RAP, то есть длине от буртика до буртика топливной таблетки 4 в угловом положении, находящемся в базовой осевой плоскости RAP.

Таким образом, можно обнаружить «поверхностную потерю», на указанных участках буртика. Длина меньше расчетной длины указывает на то, что «поверхностная потеря» наблюдается на одном или на обоих указанных участках буртика. Также можно обнаружить выступ на указанных участках буртика. Длина, превышающая расчетную

длину, указывает на то, что выступ наблюдается на одном или обоих указанных участках буртика.

Если световой пучок 44 испускается на расстоянии от оси А таблетки, меньшем внутреннего диаметра буртика 14 (первого радиуса $R1$), длина перекрытого участка светового пучка 44 может соответствовать на каждой торцевой поверхности 10 двум разносеным по окружности участкам буртика, так что дефект на одном из указанных двух участках буртика может быть скрыт другим участком буртика.

Альтернативно, световой пучок 44 испускается на радиальном расстоянии $M2$ от оси А таблетки, которое равно или больше внутреннего диаметра фаски 16 (второго радиуса $R2$) и равно или меньше наружного диаметра фаски 16 (третьего радиуса $R3$).

На радиальном расстоянии $M2$ от оси А таблетки длина перекрытого участка светового пучка 44 соответствует расстоянию между двумя выровненными по оси участками фаски торцевых поверхностей 10 таблетки 4, которые расположены, по существу, в базовой осевой плоскости RAP , то есть соответствует длине от фаски до фаски топливной таблетки 4 при угловом положении, находящемся в базовой осевой плоскости RAP .

Таким образом, можно обнаружить «поверхностную потерю» на указанных участках фаски. Длина меньше расчетной указывает на то, что «поверхностная потеря» наблюдается на одном или обоих указанных участках фаски. Также можно обнаружить выступ на указанных участках фаски. Длина, превышающая расчетную, указывает на то, что выступ наблюдается на одном или обоих указанных участках фаски.

Оптическое измерительное устройство 40 позволяет измерять расстояние между двумя выровненными по оси участками фаски торцевых поверхностей 10 и/или расстояние между двумя выровненными по оси участками буртика торцевых поверхностей 10, находящимися в базовой плоскости RP .

Измерение геометрических параметров тени, создаваемой или проецируемой топливной таблеткой 4 на оптический датчик 46, которое выполняется измерительным модулем 48, было описано выше для одного углового положения топливной таблетки 4.

Если требуется, опорное устройство 20 может быть выполнено с возможностью вращения таблетки 4 вокруг своей оси А при измерении тени, создаваемой топливной таблеткой 4, с помощью оптического измерительного устройства 40, что позволяет определить соответствующие геометрические параметры топливной таблетки 4 (например, расстояние от буртика до буртика, расстояние от фаски до фаски, расстояние от буртика до срединной поперечной плоскости, расстояние от фаски до срединной поперечной плоскости, площадь тени, площадь от срединной поперечной плоскости до

торцевой поверхности, площадь от торцевой поверхности до концевой базовой плоскости) для множества угловых положений топливной таблетки 4 относительно оси топливной таблетки, то есть при ряде положений, вдоль периферии торцевой поверхности 10, предпочтительно, по всей периферии торцевой поверхности 10.

В связи с вышесказанным, приводное устройство 30 приводит ролики 24 во вращение в одном и том же направлении (см. стрелки R на фиг. 3), чтобы топливная таблетка 4 вращалась вокруг своей оси A, в то время как оптическое измерительное устройство 40 выполняет измерения расстояния от буртика до буртика, измерения расстояния от буртика до срединной поперечной плоскости, измерения расстояния от фаски до фаски, измерения расстояния от фаски до срединной поперечной плоскости и/или измерения расстояния от концевой поперечной плоскости до торцевой поверхности по всей периферии топливной таблетки 4.

Выполнение измерения(ий) по всей периферии торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4 позволяет автоматически обнаруживать дефекты на торцевых поверхностях 10 и/или распознавать «поверхностные потери» или выступы различных форм.

Когда измерения выполняются для каждого из множества угловых положений топливной таблетки 4 относительно оси A топливной таблетки, если это применимо, для каждого углового положения топливной таблетки 4 определяется срединная поперечная плоскость МТР и/или концевая поперечная плоскость ЕТР для расчета соответствующих расстояний, длин и/или площадей.

Угловые положения могут быть дискретными.

Согласно одному из примеров, количество угловых положений, в которых выполняются измерения, равно или превышает 360, в частности, 390. Таким образом, можно выполнять измерения с угловым шагом 1° или менее между двумя последовательными угловыми положениями.

На фиг. 12 представлен вид в перспективе топливной таблетки 4, имеющей три «поверхностные потери» S1, S2, S3, распределенные по периферии торцевой поверхности 10 топливной таблетки 4. Указанные «поверхностные потери» S1, S2, S3 имеют разные формы.

На фиг. 13 – 15 представлены графики изменения осевых расстояний D1, D2, D3, измеренных на различных радиальных расстояниях M1, M2, M3, в зависимости от углового положения топливной таблетки 4 относительно оси A таблетки, измерения проводились, как описывалось со ссылкой на фиг. 9.

На представленных графиках показаны кривые C1, C2, C3, построенные на основании результатов измерений соответствующий осевых расстояний D1, D2, D3 (ордината) в зависимости от углового положения топливной таблетки 4 (абсцисса).

Согласно иллюстративному примеру, каждая кривая C1, C2, C3 в основном приближена к расчетному значению V1, V2, V3, за исключением трех впадин на каждой кривой C1, C2, C3, отклоняющихся от расчетного значения V1, V2, V3, причем каждая впадина соответствует одной из трех «поверхностных потерь» S1, S2, S3.

Как показано на графике, впадины проходят вниз относительно расчетных значений V1, V2, V3 и соответствуют «поверхностным потерям» S1, S2, S2. Дефект, соответствующий выступу, показан в виде пика, простирающегося вверх относительно расчетного значения V1, V2, V3.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью построения для каждого радиального расстояния M1, M2, M3 соответствующей кривой C1, C2, C3 при измерении соответствующего осевого расстояния D1, D2, D3 в зависимости от углового положения топливной таблетки 4.

Например, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью обнаружения пиков и/или впадин и для идентификации дефекта, если разница между высотой пика и расчетным значением V1, V2, V3 или глубиной впадины и расчетным значением V1, V2, V3 превышает порог обнаружения. Превышение порогового значения свидетельствует о том, что отклонение выходит за пределы производственных допусков и является признаком дефекта топливной таблетки 4.

Предпочтительно, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью классификации дефекта путем анализа каждой кривой C1, C2, C3.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью измерения ширины каждой впадины, суммарной ширины всех впадин, глубины каждой впадины, ширины каждого пика, суммарной ширины всех пиков и/или высоты каждого пика для классификации каждого обнаруженного дефекта. Ширина впадины или ширина пика соответствуют угловой протяженности дефекта.

Предпочтительно, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью классификации дефекта в зависимости от ширины каждой впадины, суммарной ширины всех впадин, глубины каждой впадины, ширины каждого пика, суммарной ширины всех пиков и/или высоты каждого пика.

Что касается «поверхностной потери», ширина впадины обычно имеет большее значение (с точки зрения качества таблетки), чем глубина впадины.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью классификации дефекта как «поверхностная потеря», характеризующаяся впадиной, имеющей ширину, превышающую ее глубину.

Что касается выступа, высота пика обычно имеет большее значение (с точки зрения качества таблеток), чем ширина пика.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью классификации дефекта как выступ, характеризующийся пиком, высота которого больше ширины.

Кроме того, выполнение измерения осевого расстояния на всем протяжении измеряемого участка МР и по всей периферии торцевой поверхности 10 позволяет создать 3D-карту точек кольцевой области торцевой поверхности 10 с центром на оси В топливной таблетки и соответствующей измеряемому участку МР.

К тому же, измерительный модуль 48 может быть выполнен с возможностью сравнения 3D-карты с расчетной 3D-картой для обнаружения и/или классификации дефектов торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4.

Кроме того, 3D-карта может использоваться для создания изображений, которые могут, например, быть представлены оператору для проверки измерений, выполненных измерительным модулем 48.

Согласно одному из примеров, измерительный модуль 48 выполнен с возможностью создания файла 3D-изображения, соответствующего 3D-карте и кодирующего 3D-изображение, представляющее торцевую поверхность 10, в зависимости от измерений, выполненных выше.

Если требуется или альтернативно, измерительный модуль 48 может быть выполнен с возможностью создания файла 2D-изображения, кодирующего 2D-изображение, которое соответствует 3D-карте, при этом 3D-рельеф торцевой поверхности 10 закодирован в 2D-изображении, например, оттенками серого цвета или цветом.

Согласно одному из примеров, 2D-изображение представляет собой полосу с двумя параллельными сторонами, при этом одна сторона соответствует периферийной кромке торцевой поверхности 10, а другая сторона соответствует внутреннему краю буртика 14.

Если требуется или альтернативно, 2D-изображение представляет собой диск, наружная сторона которого соответствует периферийной кромке торцевой поверхности 10, а внутренняя сторона соответствует внутреннему краю буртика 14.

Если требуется, опорное устройство 20 может обеспечивать поступательное перемещения таблетки 4 вдоль оси А таблетки при одновременном вращении таблетки 4 и измерении таблетки 4 с помощью оптического измерительного устройства 40. Таким

образом, при перемещении таблетки 4 вдоль роликов 24 можно проверять таблетку 4 по всей периферии.

Перемещающее устройство 32 обеспечивает осевое перемещение, при этом толкатель 34 перемещается вдоль роликов 24, проталкивая топливную таблетку 4 вдоль роликов 24.

Предпочтительно, если каждая торцевая поверхность 10 имеет углубление 12, буртик 14 и фаску 16, толкатель 34 выполнен с возможностью контакта с центром углубления 12 торцевой поверхности 10 топливной таблетки 4 для проталкивания топливной таблетки 4, не вступая в контакт с буртиком 14 и/или фаской 14, конкретнее говоря, не контактируя или не заслоняя участок буртика и/или фаски в базовой осевой плоскости RAR. Следовательно, толкатель 34 не будет прерывать световой пучок 44 по меньшей мере в области, в которой измеряются расстояния.

Светоизлучатель 42 и оптический датчик 46, предпочтительно, конфигурированы таким образом, чтобы протяженность светового пучка 44 вдоль оси А таблетки превышала длину таблетки 4 плюс расстояние, на которое перемещается топливная таблетка 4 за по меньшей мере один полный оборот топливной таблетки 4 вокруг оси А таблетки.

Таким образом, можно измерить геометрические параметры топливной таблетки 4 по всей периферии торцевых поверхностей 10, когда перемещается топливная таблетка 4 между светоизлучателем 42 и оптическим датчиком 46, перекрывая световой пучок 44.

Согласно одному из вариантов осуществления изобретения, светоизлучатель 42 и оптический датчик 46, предпочтительно, конфигурированы таким образом, чтобы протяженность светового пучка 44 вдоль оси А таблетки позволяла одновременно измерять несколько топливных таблеток, например две топливные таблетки, три топливные таблетки или более.

Согласно вариантам осуществления изобретения, в которых используются двумерный светоизлучатель 42 и двумерный оптический датчик 46, оптический датчик 46 содержит, например, матричный светочувствительный элемент, то есть светочувствительный элемент, который содержит множество светочувствительных пикселей, расположенных в матрице.

Предпочтительно, оптический датчик 46 выполнен с возможностью активизации только того участка оптического датчика, который покрывает область, достаточную для выполнения измерения(ий), выполняемых измерительным модулем 48, при этом остальной участок оптического датчика остается неактивной.

Рамка AF на фиг. 6 иллюстрирует пример возможного активного участка оптического датчика, остальная часть фиг. 6 соответствует неактивному участку оптического датчика.

Активный участок может составлять менее 20% площади оптического датчика, даже менее 10% площади оптического датчика.

Использование только одного участка оптического датчика позволяет быстрее проводить обработку посредством оптического датчика 46. Кроме того, также упрощается анализ, выполняемый измерительным модулем 48, поскольку в данных, полученных оптическим датчиком, присутствуют только интересующие участки тени, и положение сторон, точек и плоскости, требующееся для измерения, определяется легче и быстрее. Таким образом, можно повысить производительность, то есть увеличить количество топливных таблеток, обрабатываемых в единицу времени.

Согласно одному из примеров, светоизлучатель 42 выполнен с возможностью испускания светового пучка в виде световых импульсов, предпочтительно, по сигналу оптического датчика 46. Таким образом, светоизлучатель 42 приводится в действие оптическим датчиком 46, а оптический датчик 46 выполнен с возможностью подачи сигнала светоизлучателю 42 для испускания световых импульсов.

Как известно, оптический датчик 46 способен захватывать «изображения» с заданной частотой, то есть заданное количество изображений в единицу времени. Время между двумя последовательными изображениями, захваченными оптическим датчиком 46, соответствует времени, необходимому для сбора данных, поступающих от светочувствительного элемента оптического датчика 46, в частности, от множества пикселей светочувствительного элемента.

Оптический датчик 46, выполнен с возможностью приведения в действие светоизлучателя 42, испускающего световые импульсы, что позволяет синхронизировать работу светоизлучателя 42 с оптического датчика 46.

Кроме того, каждое «изображение» захватывается оптическим датчиком 46 в течение заданного времени экспозиции, то есть при заданной продолжительности воздействия светового пучка, испускаемого светоизлучателем, на оптический датчик 42.

Предпочтительно, оптический датчик 46 и светоизлучатель 42 конфигурированы таким образом, что при захвате изображения световой пучок излучается только в течение доли заданного времени экспозиции. С этой целью испускание светового пучка начинается после начала времени экспозиции и/или прекращается до окончания времени экспозиции.

Согласно одному из вариантов осуществления изобретения, длительность импульса светового пучка, испускаемого светоизлучателем 42 для захвата изображения, строго меньше времени экспозиции оптического датчика 46 для захвата этого изображения. Согласно одному из примеров, время экспозиции составляет 450 микросекунд (мкс) или менее, а продолжительность светового импульса составляет от 50 до 100 мкс.

Таким образом, можно получить более четкую тень и, соответственно, повысить точность измерения, выполняемого измерительным модулем 48, а именно, когда топливная таблетка 4 поворачивается вокруг оси А таблетки и/или перемещается вдоль оси А топливной таблетки.

Кроме того, в частности, если свет испускается с использованием электролюминесцентных диодов (или светодиодов) в качестве источников света, можно уменьшить размытость изображения при движении таблетки, повысить ожидаемый срок службы источника(ов) света и/или увеличить интенсивность света по сравнению с постоянным освещением.

Согласно различным примерам, измерительный модуль 48, предпочтительно, выполнен с возможностью сравнения геометрического параметра (например, расстояния, длины или площади) с расчетным значением и для подачи сигнала о дефекте, если геометрический параметр отличается от расчетного значения. Соответственно, топливная таблетка может быть извлечена для дополнительной проверки и/или отбракована.

Согласно некоторым примерам, измерительный модуль 48 представляет собой компьютерную программу, которую выполняет блок 58 обработки данных, содержащий запоминающее устройство 60, в котором хранится компьютерная программа, и процессор 62, сконфигурированный для выполнения компьютерной программы, хранящейся в запоминающем устройстве 60. Альтернативно, измерительный модуль 48 может представлять собой программируемое логическое устройство («PLD»), то есть программируемую логическую матрицу («FPGA») или специализированную интегральную схему («ASIC»).

Система 18 контроля позволяет осуществлять способ контроля таблетки 4 ядерного топлива, симметричной относительно оси А таблетки, причем способ включает размещение топливной таблетки 4 на опорном устройстве 20 и определение по меньшей мере одного геометрического параметра тени, создаваемой топливной таблеткой 4, с помощью оптического измерительного прибора 40 для выявления возможных дефектов на торцевых поверхностях 10 топливной таблетки 4.

Способ контроля включает, например, измерение длины от буртика до буртика или длины от буртика до срединной плоскости топливной таблетки 4 в одной или нескольких областях по периферии буртиков 14, предпочтительно, по всей периферии буртиков 14, и/или измерение длины от фаски до фаски или длины от фаски до срединной плоскости топливной таблетки 4 в одной или нескольких областях по периферии фасок 16, предпочтительно, по всей периферии фасок 16.

Измерения длины в разных областях или по всей периферии выполняются при вращении топливной таблетки 4 вокруг оси А таблетки, и, если требуется, при продвижении топливной таблетки 4 вдоль оси А таблетки, для измерения длины, когда топливная таблетка перемещается вдоль опорного устройства 20.

Настоящее изобретение обеспечивает надежность и высокую точность оптических измерений геометрических параметров топливной таблетки. Оптическое измерение позволяет обнаружить дефекты на периферии торцевых поверхностей топливной таблетки 4 в виде «поверхностных потерь» и выступов. Благодаря вращению топливной таблетки вокруг оси таблетки можно выполнить проверку всей периферии торцевых поверхностей топливных таблеток.

Оптическое измерение с использованием светового пучка, испускаемого вдоль оптической оси, перпендикулярной оси таблетки, может быть выполнено даже при аксиальном перемещении топливной таблетки, поскольку расстояние между топливной таблеткой и элементами оптического измерительного устройства поддерживается постоянным.

Оптическое измерительное устройство, выполненное в виде двумерного (2D) оптического микрометра (или «профилометра»), позволяет измерять множество длин и/или площадей тени, проецируемой освещаемым участком топливной таблетки 4.

Оптическое измерительное устройство, выполненное в виде линейного оптического микрометра, позволяет измерять одну длину, например, длину от буртика до буртика или длину от фаски до фаски.

Следует отметить, что по сравнению с двумерными (2D) оптическими микрометрами линейные оптические микрометры, которые являются стандартными и серийно выпускаемые, обладают преимуществом, связанным с весьма высокой частотой измерения (например, выше или равной 2 кГц), при сохранении одинаковой погрешности измерения (от 1 до 15 мкм).

Несколько линейных оптических микрометров могут быть объединены в одной или разных базовых осевых плоскостях RAP для измерения разных длин топливной таблетки 4.

Согласно одному из примеров, система контроля содержит два оптических измерительных устройства, выполненных в виде линейных оптических микрометров, при этом оптические измерительные устройства приспособлены для измерения разных длин топливной таблетки 4.

Согласно конкретному примеру, в котором торцевые поверхности 10 топливной таблетки 4 имеют углубление 12, буртик 14 и фаску 16, система 18 контроля содержит первый линейный оптический микрометр, выполненный с возможностью измерения длины от буртика до буртика топливной таблетки 4, и второй линейный оптический микрометр, выполненный с возможностью измерения длины от фаски до фаски топливной таблетки 4.

Система 18 контроля и ее работа были более подробно описаны для топливной таблетки 4, каждая из торцевых поверхностей 10 которой имеет углубление 12, буртик 14 и фаску 16.

Система 18 контроля также может быть использована для проверки топливной таблетки 4, имеющей торцевые поверхности 10 разной формы.

В частности, система 18 контроля может также использоваться для проверки топливной таблетки 4, имеющей торцевые поверхности 10 без фаски 16, то есть имеющие только буртик 14, продолжающийся между боковой поверхностью 8 и углублением 12. Буртик 14, например, имеет небольшую конусность. Угол между буртиком и плоскостью, перпендикулярной оси А таблетки, может составлять, например, от 0° до 5° .

Альтернативно, система 18 контроля может также использоваться для проверки кольцевых топливных таблеток, в которых вместо углубления 12 выполнено осевое отверстие, проходящее через топливную таблетку 4 от одной торцевой поверхности 10 до другой торцевой поверхности 10.

Следует отметить, что перемещающее устройство 32, показанное на фиг. 4, способно прикладывать давящее усилие к углублению 12, предусмотренному на каждой торцевой поверхности 10, однако может быть не эффективным при кольцевой конфигурации топливной таблетки. Как вариант, перемещающее устройство 32 может быть приспособлено прикладывать давящее усилие на другую поверхность топливной таблетки 4, либо топливная таблетка 4 может быть проверена, когда таблетка неподвижна вдоль оси А таблетки

Измерения тени, создаваемой топливной таблеткой 4, зависят от формы торцевых поверхностей 10 топливной таблетки 4. В частности, длину от торцевой поверхности до торцевой поверхности, длину от торцевой поверхности до срединной поперечной плоскости или расстояние от торцевой поверхности до концевой поперечной плоскости

определяют на соответствующих радиальных расстояниях от оси А таблетки в зависимости от профиля торцевых поверхностей на виде сбоку вдоль оптической оси оптического измерительного устройства.

Согласно иллюстративным вариантам осуществления изобретения, система 18 контроля конфигурирована таким образом, чтобы оптическая ось С была перпендикулярна базовой оси В и, следовательно, оси А топливной таблетки. Таким образом, тень, проецируемая на оптический датчик 46, соответствует профилю боковой поверхности топливной таблетки. 4, включая боковые профили торцевых поверхностей 10.

Согласно другим вариантам осуществления изобретения, оптическая ось С наклонена относительно оси А топливной таблетки, то есть не перпендикулярна и не параллельна оси А топливной таблетки.

Если оптическая ось С наклонена относительно оси А топливной таблетки, тень, проецируемая на оптический датчик 46, будет отличаться от тени, проецируемой при перпендикулярном положении оптической оси С относительно оси А топливной таблетки.

Оптическая ось С может быть ориентирована так, чтобы облегчалось обнаружение конкретных дефектов на конкретных поверхностях топливных таблеток.

Оптическая ось С может быть ориентирована, например, так, чтобы она была касательной к определенному участку одной из торцевых поверхностей 10, например, к сектору буртика 14 или к сектору фаски 16.

Предпочтительно, оптическая ось С образует угол от 0° до 25° с поперечной плоскостью, перпендикулярной оси А топливной таблетки. Угол 0° соответствует оптической оси С, перпендикулярной оси А топливной таблетки.

В приведенных выше примерах каждая топливная таблетка 4 проверяется индивидуально. При помощи опорного устройства 20 и/или перемещающего устройства 32 множество топливных таблеток 4 последовательно, то есть одна за другой, поступают на проверку, при этом они расположены с интервалом в осевом направлении и проверяются индивидуально.

Согласно другому примеру, представленному на фиг. 16, система 18 контроля может быть выполнена с возможностью одновременной проверки множества топливных таблеток 4, уложенных в столбик 64, в котором топливные таблетки, имеющие ось А, расположены соосно. Топливные таблетки 4 в столбике 64 контактируют друг с другом. Точнее говоря, смежные торцевые поверхности 10 топливных таблеток 4 контактируют друг с другом.

В представленном примере измерительное устройство 48 выполнено с возможностью выполнения одновременного измерения тени, создаваемой множеством топливных таблеток, уложенных в столбик 64. На фиг. 16 для каждой таблетки (трех таблеток на фиг. 16), показаны средняя поперечная плоскость МТР и концевая поперечная плоскость ЕТР, а также расстояния, измеряемые относительно указанных плоскостей (см. двусторонние стрелки).

Столбик 64 может занимать неподвижное положение во время проверки. Альтернативно, в процессе проверки столбик 64, образованный топливными таблетками 4, приводится во вращение, следовательно, каждая топливная таблетка 4 вращается вокруг своей оси А и/или столбик 64 перемещается в осевом направлении, следовательно, каждая топливная таблетка 4 перемещается вдоль оси А. Таким образом, может выполняться проверка каждой торцевой поверхности 10 каждой топливной таблетки 4 столбика 64 по всей периферии торцевой поверхности 10.

Одновременная проверка нескольких топливных таблеток 4, уложенных в столбик 64, может быть реализована как в варианте с использованием по меньшей мере одного двумерного оптического микрометра, так и в варианте с использованием по меньшей мере одного линейного оптического микрометра, как описалось выше при индивидуальной проверке каждой топливной таблетки 4.

Чтобы не загромождать чертеж, на фиг. 16 показаны только три одновременно проверяемые топливные таблетки 4 из столбика 64 (топливные таблетки 4, для которых определены базовые плоскости). На практике одновременно можно проверять более трех топливных таблеток 4, в частности, более десяти топливных таблеток, например, около двадцати топливных таблеток 4.

Кроме того, при проведении некоторых измерений используются срединная поперечная плоскость МТР и концевая поперечная плоскость ЕТР, показанные на фиг. 16, однако, несомненно, все различные измерения, описанные выше и выполняемые для одной топливной таблетки 4, также применимы для нескольких топливных таблеток 4, проверяемых одновременно.

В описанных выше примерах система 18 контроля выполнена с возможностью обнаружения дефектов на торцевых поверхностях 10 каждой топливной таблетки 4.

Если требуется или альтернативно, система 18 контроля может быть выполнена с возможностью обнаружения дефектов на боковой поверхности 8 топливной таблетки 4, в частности, вблизи каждой торцевой поверхности 10, или области соединения боковой поверхности 8 с каждой торцевой поверхностью 10.

Фактически, возможным дефектом топливной таблетки 4 является концевой скол, то есть кольцевая трещина вблизи наружной кромки торцевой поверхности 10 либо на самой торцевой поверхности 10, либо на боковой поверхности 8 вблизи торцевой поверхности 10.

На фиг. 17 показана тень, создаваемая топливной таблеткой 4, имеющей концевой скол, который двумерный (2D) оптический микрометр обнаруживает на стороне контура тени, соответствующей боковой поверхности 8 топливной таблетки 4 вблизи торцевой поверхности 10 (слева на фиг. 17).

При сравнении, топливная таблетка 4 не имеет концевого скола вблизи другой торцевой поверхности 10 (справа на фиг. 17).

Измерительный модуль 48 системы 18 контроля конфигурирован, например, для обнаружения непрямолинейного участка контура тени, соответствующего боковой поверхности 8 топливной таблетки 4 и/или для обнаружения изъяна, такого как зазубрина 66, на участке контура тени, соответствующего боковой поверхности 8.

Как показано на фиг. 17, дефект на боковой поверхности 8 топливной таблетки 4 может быть обнаружен с помощью системы 48 контроля, использующей двумерный (2D) оптический микрометр, либо с помощью системы 48 контроля, содержащей линейный оптический микрометр. В последнем случае дефект может быть обнаружен как излом с одной стороны линейного контура тени, создаваемой топливной таблеткой 4.

В целом, система 48 контроля позволяет обнаружить любой дефект, влияющий на тень, создаваемую топливной таблеткой 4, перекрывающей световой пучок между светоизлучателем и оптическим датчиком.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система контроля для проверки таблетки (4) ядерного топлива, которая является симметричной относительно оси (А) таблетки, имеет боковую поверхность (8) и две торцевые поверхности (10), или ряда таких таблеток (4) ядерного топлива, расположенных в столбик (64), содержащая опорное устройство (20), предназначенное для поддержки топливной таблетки (4) или таблеток таким образом, чтобы ось (А) каждой топливной таблетки (4) совпадала с базовой осью (В), а также оптическое измерительное устройство (40), выполненное с возможностью оптического измерения топливной таблетки (4) или таблеток, при этом оптическое измерительное устройство (40) содержит светоизлучатель (42), выполненный с возможностью испускания светового пучка, распространяющегося вдоль оптической оси (С), и оптический датчик (46), предназначенный для приема светового пучка (44), при этом каждая топливная таблетка (4) перекрывает световой пучок (44) и создает тень, проецируемую на оптический датчик (46), причем оптическое измерительное устройство (40) содержит измерительный модуль (48), выполненный с возможностью анализа тени для обнаружения возможных дефектов на торцевых поверхностях (10) и/или на боковой поверхности (8) каждой топливной таблетки (4).

2. Система контроля по п. 1, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью измерения по меньшей мере одного геометрического параметра указанной тени для обнаружения возможных дефектов, в частности, на торцевых поверхностях (10) и/или боковой поверхности (8) каждой топливной таблетки (4),

3. Система контроля по п. 1 или 2, в которой оптическая ось (С) образует с плоскостью, перпендикулярной базовой оси (В), угол, который составляет от 0° до 45° , предпочтительно, от 0° до 25° .

4. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой опорное устройство (20) выполнено с возможностью вращения каждой топливной таблетки (4) вокруг оси (А) таблетки.

5. Система контроля по п. 4, в которой измерительное устройство (48) выполнено с возможностью анализа указанной тени в течение по меньшей мере одного полного оборота каждой топливной таблетки (4), так чтобы проанализировать всю периферию каждой торцевой поверхности (10) и/или всю периферию боковой поверхности (8) каждой топливной таблетки (4).

6. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, которая выполнена с возможностью перемещения топливной таблетки (4) или таблеток вдоль базовой оси (В).

7. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой световой пучок (44) является линейным, а указанная тень, создаваемая каждой топливной

таблеткой (4), имеет форму сегмента, причем измерительный модуль (48) выполнен с возможностью измерения длины тени, создаваемой каждой топливной таблеткой (4), для определения соответствующей длины топливной таблетки (4) и выявления наличия дефектов на торцевых поверхностях (10) и/или боковой поверхности (8) топливной таблетки (4).

8. Система контроля по любому из пп. 1 – 6, в которой световой пучок (44) является двумерным и указанная тень, создаваемая каждой топливной таблеткой (4), является двумерной.

9. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью анализа тени, создаваемой каждой топливной таблеткой (4), при этом определяется положение поперечной плоскости (МТР, ЕТР) топливной таблетки (4) и определяется по меньшей мере одно осевое расстояние (L11, L12, L21, L22, D1, D2, D3) между поперечной плоскостью (МТР, ЕТР) и стороной контура тени, соответствующей торцевой поверхности (10).

10. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой измерительный модуль (18) выполнен с возможностью определения положения срединной поперечной плоскости (МТР) топливной таблетки (4) и определения длины тени, создаваемой каждой топливной таблеткой (4), между срединной плоскостью (МТР) и указанным боковым контуром тени, для определения соответствующей длины топливной таблетки (4).

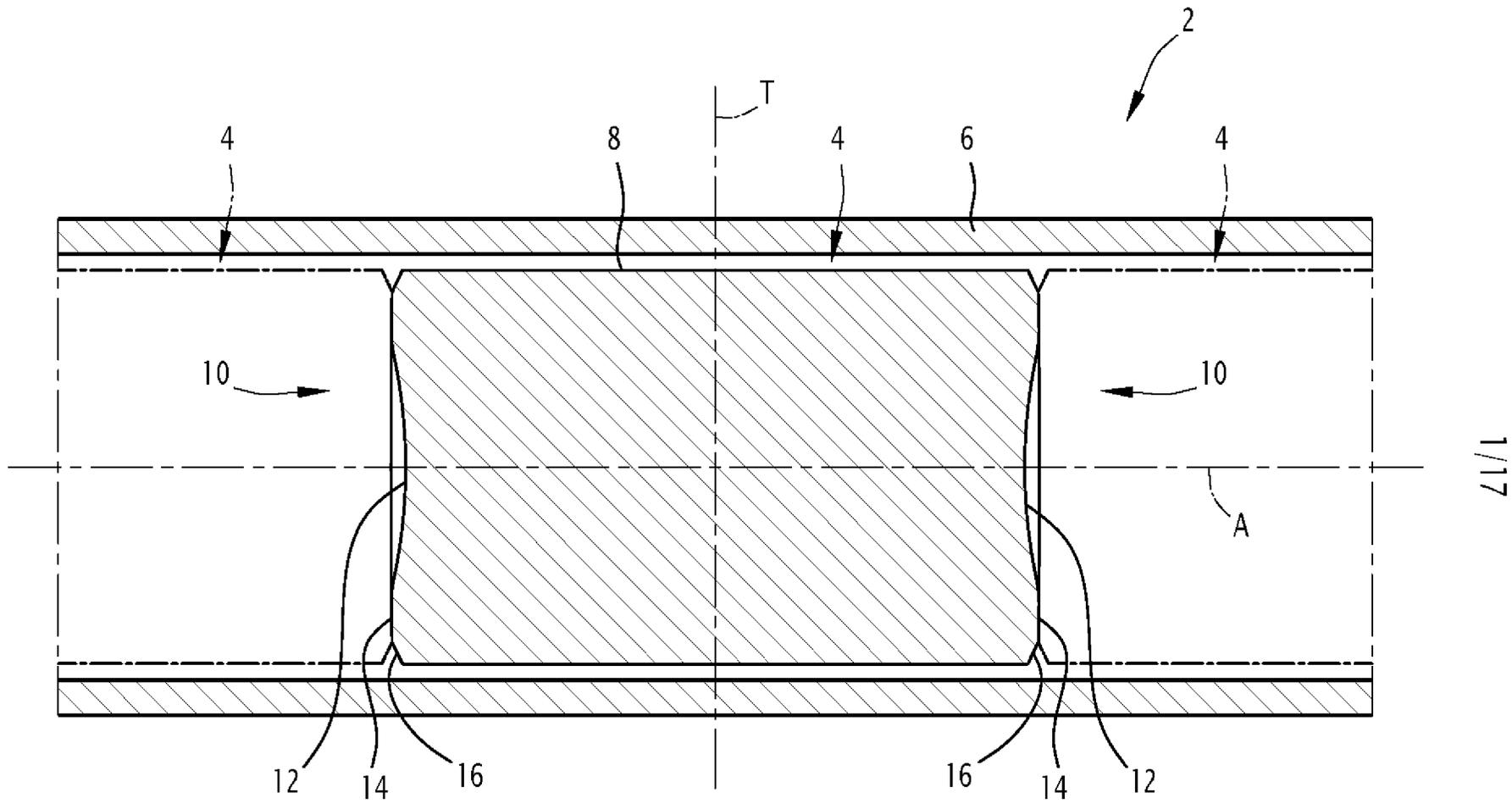
11. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью анализа тени, создаваемой каждой топливной таблеткой (4), для по меньшей мере одной торцевой поверхности (10) или для каждой торцевой поверхности (10), при этом определяется положение концевой поперечной плоскости (ЕТР) указанной торцевой поверхности (10), причем концевая поперечная плоскость (ЕТР) перпендикулярна оси (А) топливной таблетки, для вычисления по меньшей мере одного осевого расстояния (D1, D2, D3) между концевой поперечной плоскостью (ЕТР) и стороной контура тени, соответствующей указанной торцевой поверхности (10).

12. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью определения 3D-карты по меньшей мере участка по меньшей мере одной из торцевых поверхностей (10) каждой топливной таблетки (4) исходя из анализа тени, создаваемой топливной таблеткой (4) или таблетками.

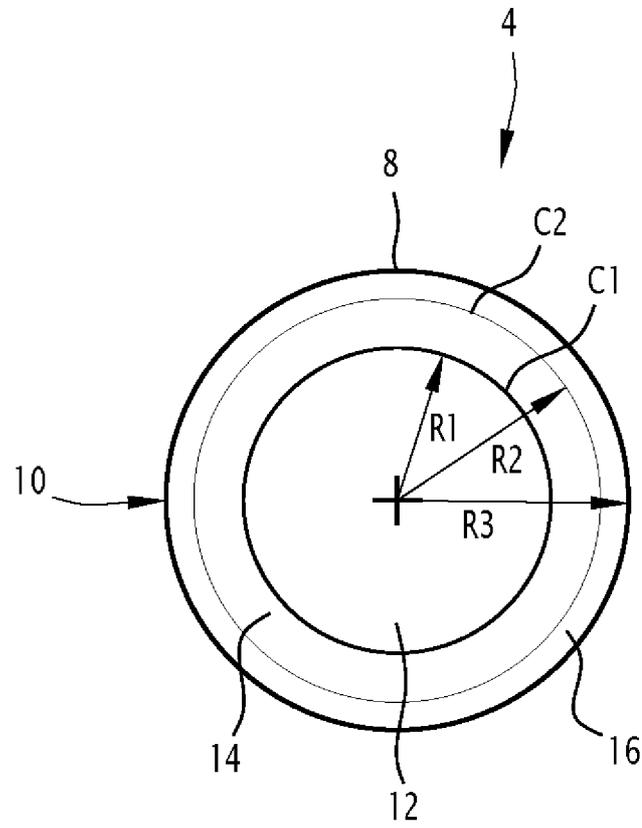
13. Система контроля по п. 12, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью создания файла 3D-изображения, соответствующего 3D-карте и кодирующего 3D-изображение, представляющее торцевую поверхность (10), и/или с возможностью создания файла 2D-изображения, кодирующего 2D-изображение, которое соответствует указанной 3D-карте.

14. Система контроля по любому из предшествующих пунктов, в которой измерительный модуль (48) выполнен с возможностью обнаружения «поверхностной потери» на торцевой поверхности (10) каждой топливной таблетки (4) и/или выступа на торцевой поверхности (10) каждой топливной таблетки (4), и/или с возможностью обнаружения концевого скола между одной из торцевых поверхностей (10) и боковой поверхностью (8) каждой топливной таблетки (4).

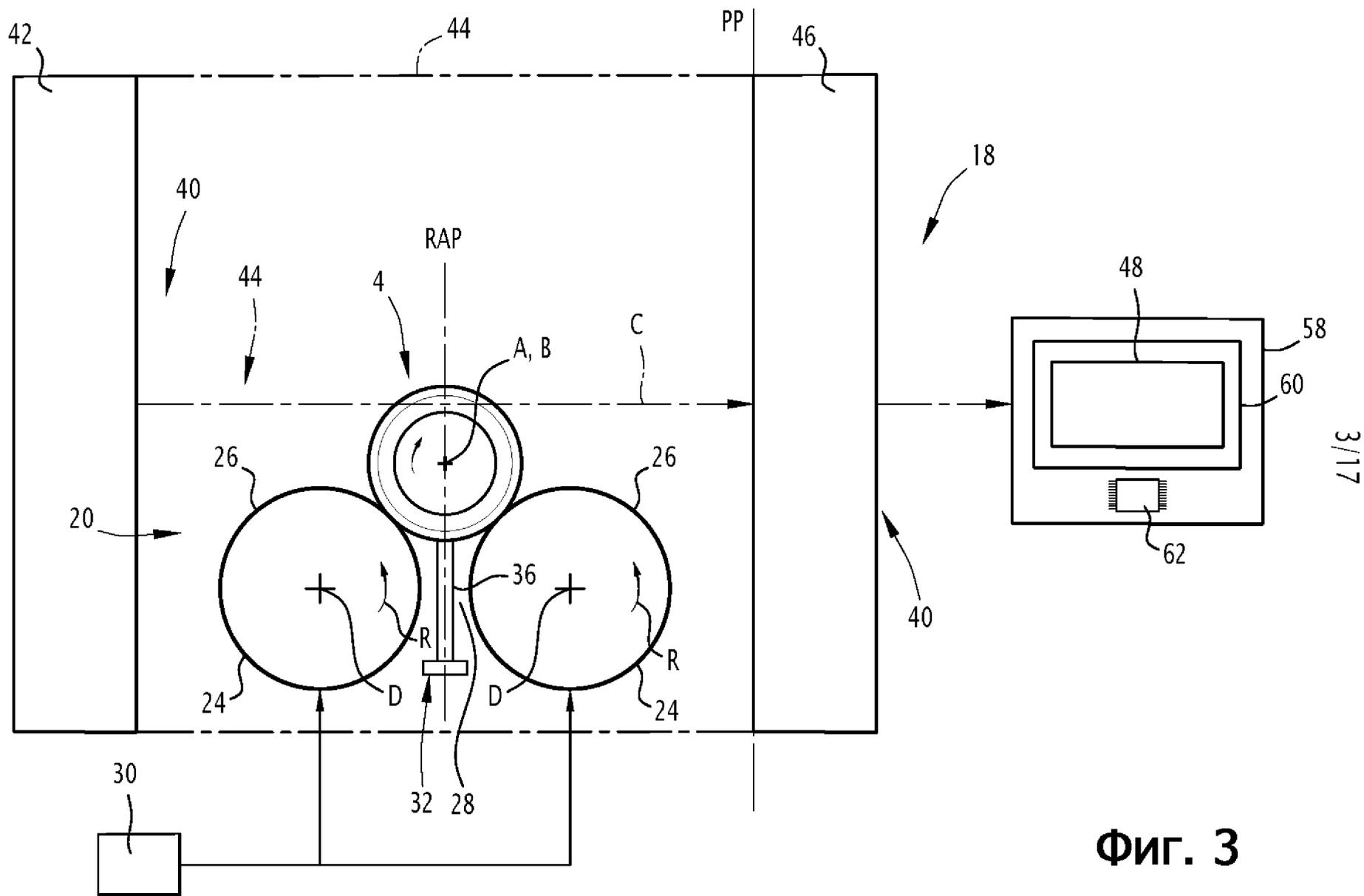
15. Способ контроля таблетки ядерного топлива, симметричной относительно оси (А) таблетки, характеризующийся тем, что используют систему контроля по любому из предшествующих пунктов.



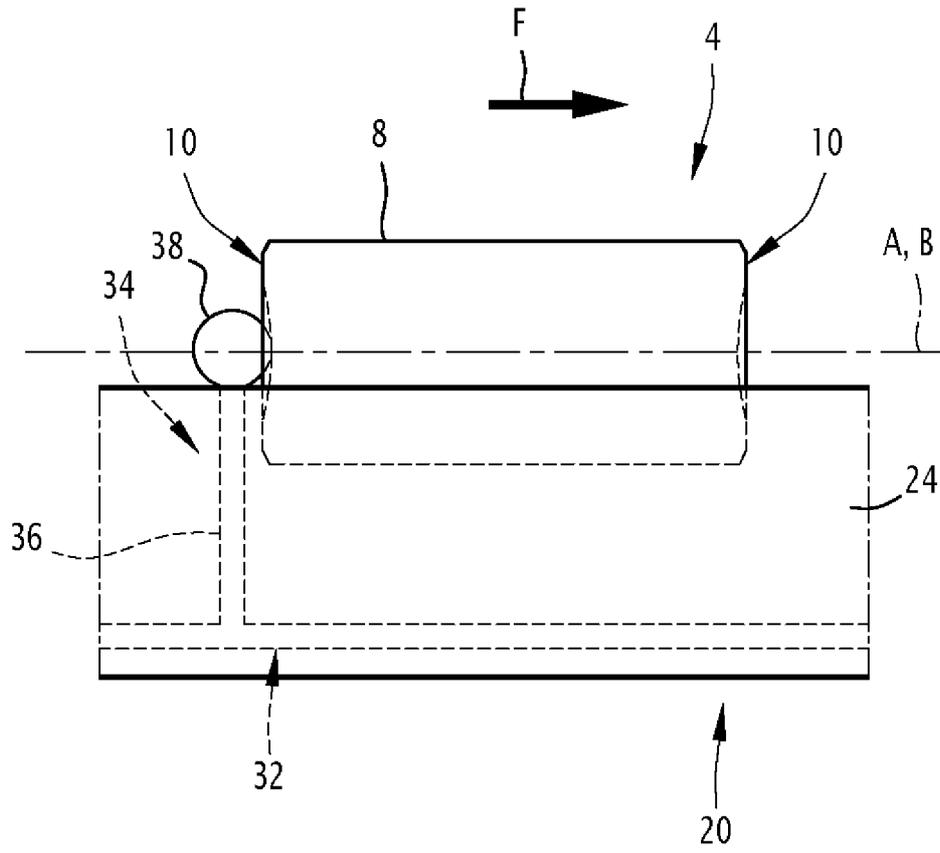
ФИГ. 1



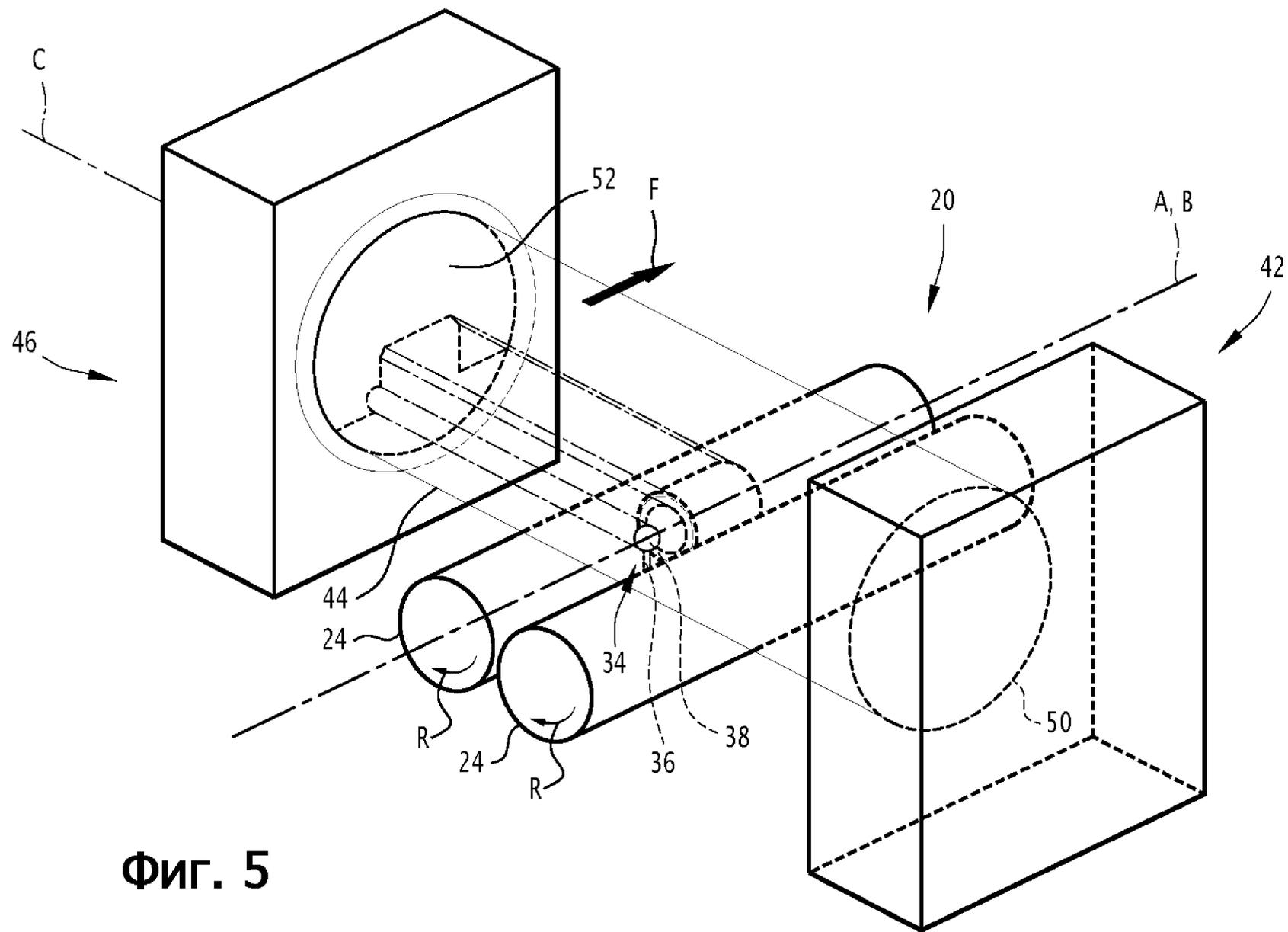
ФИГ. 2



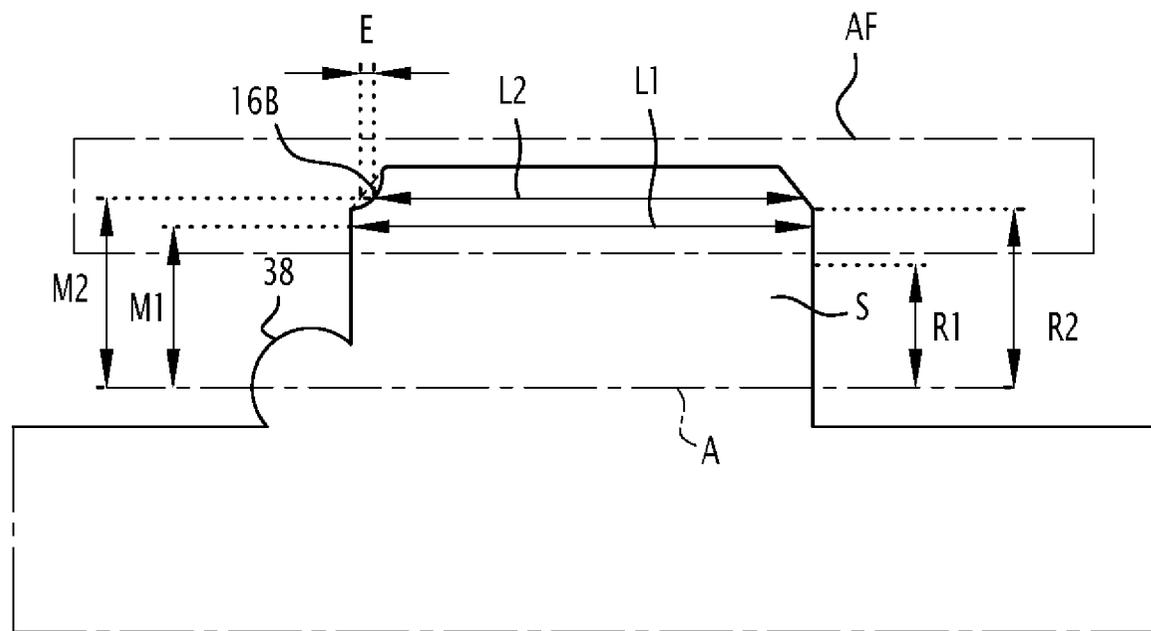
ФИГ. 3



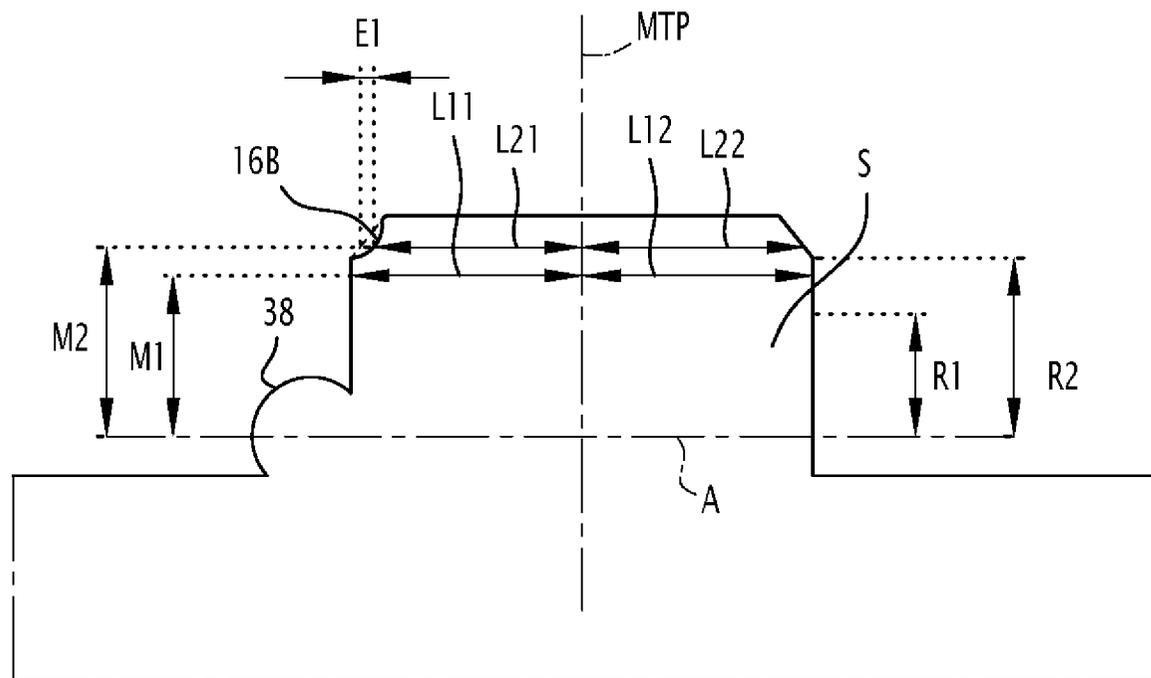
ФИГ. 4



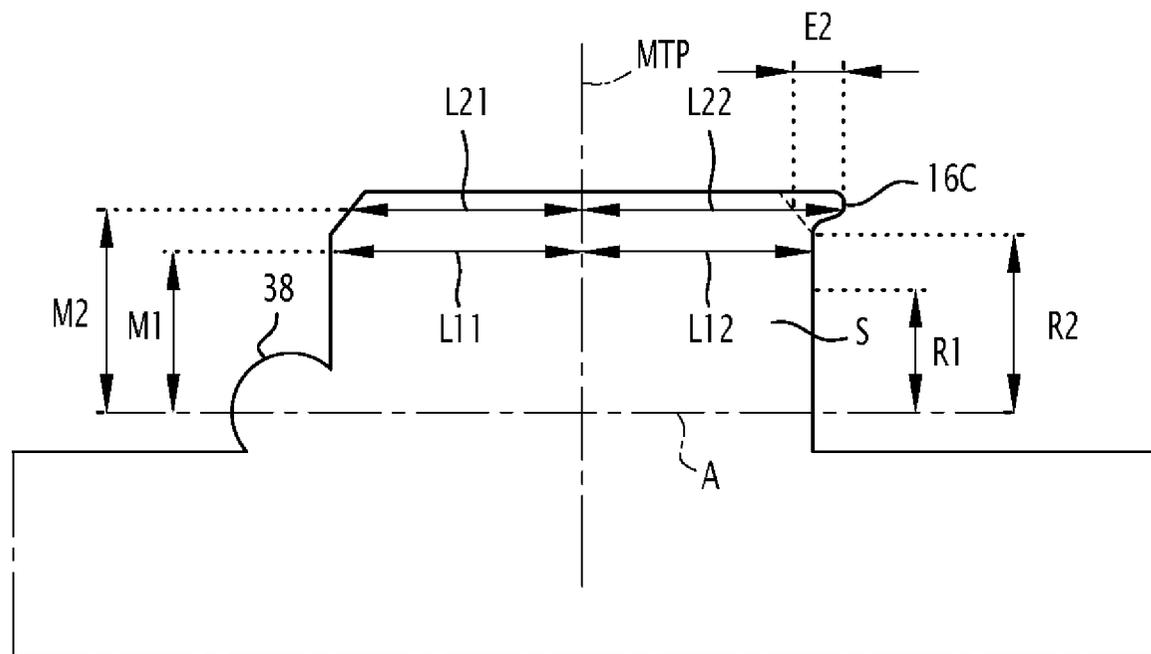
Фиг. 5



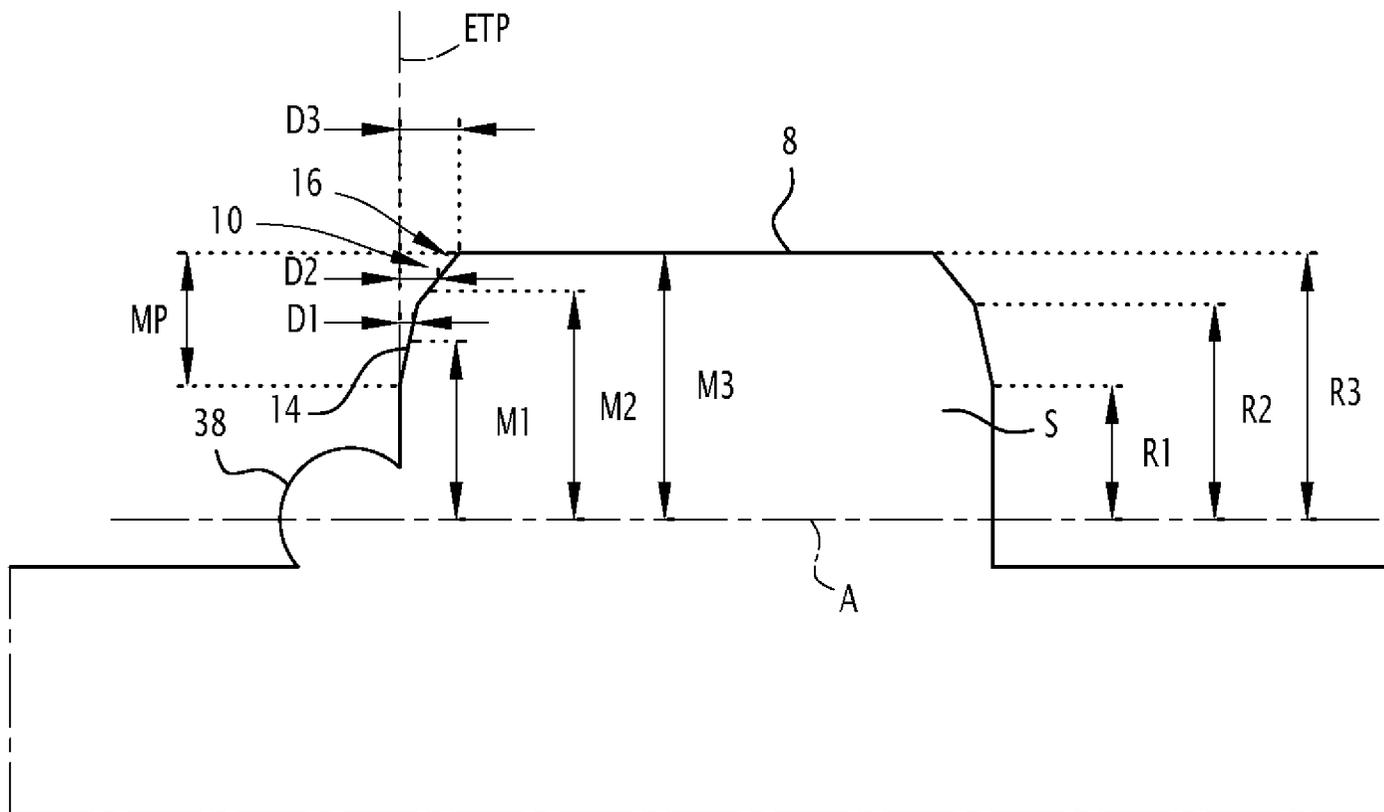
Фиг. 6



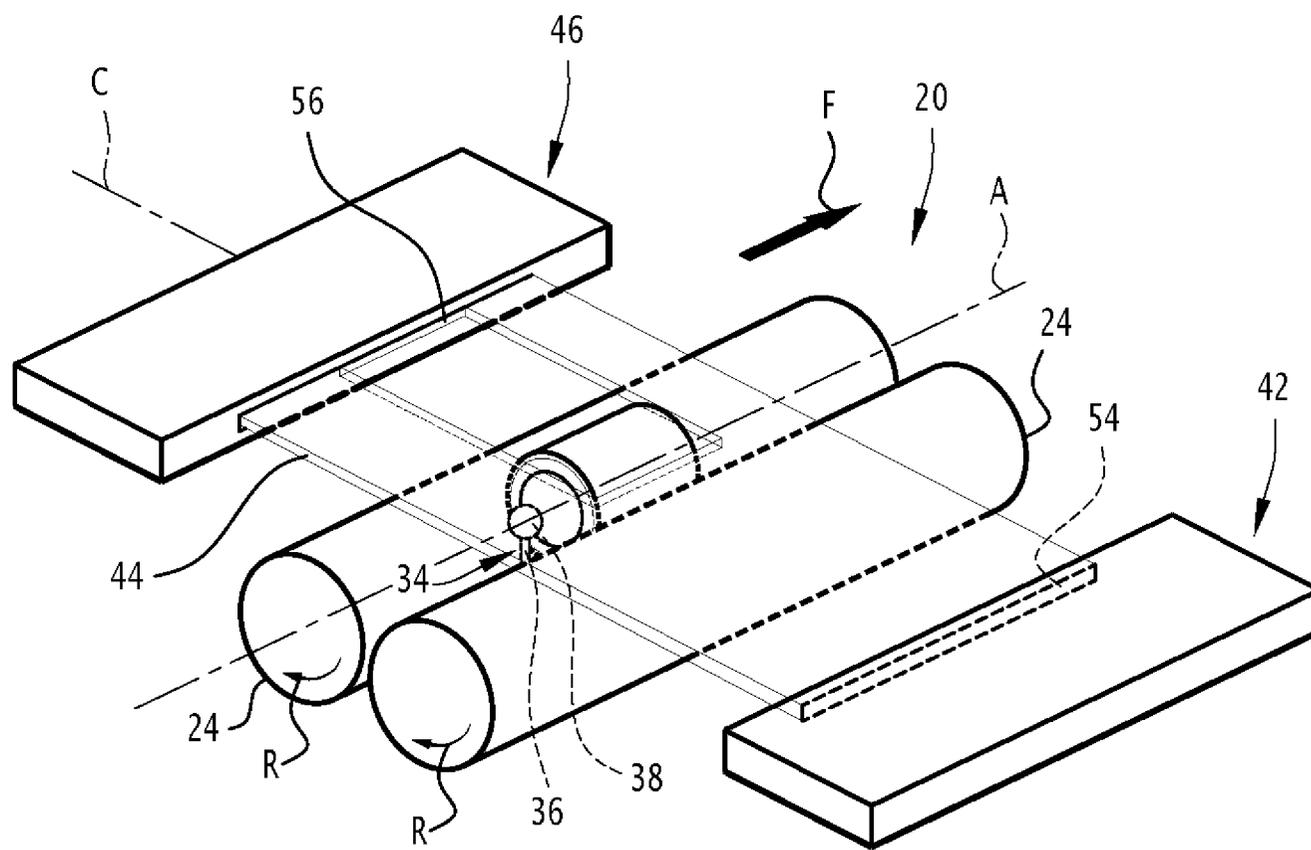
ФИГ. 7



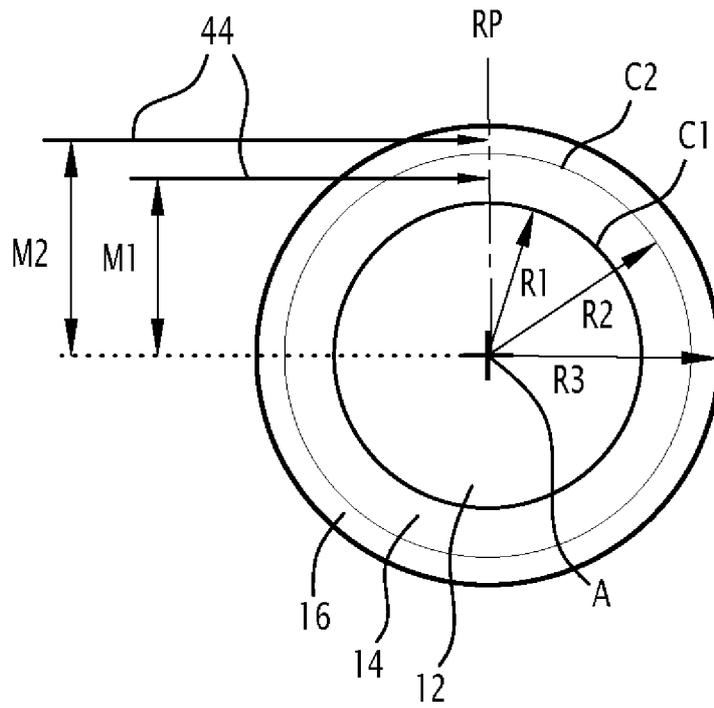
ФИГ. 8



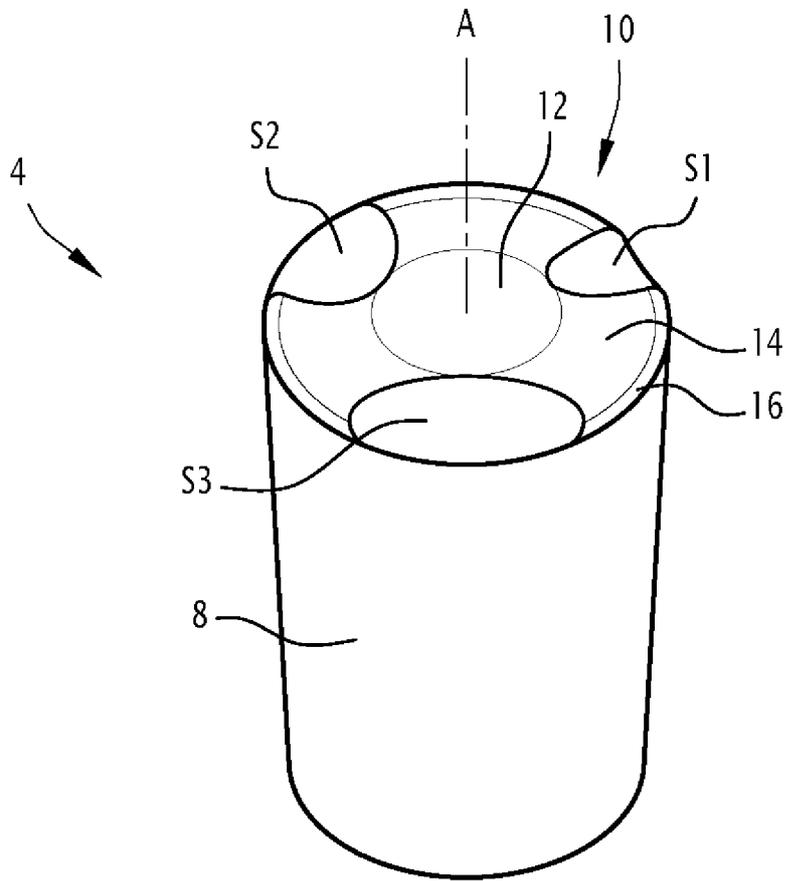
Фиг. 9



ФИГ. 10

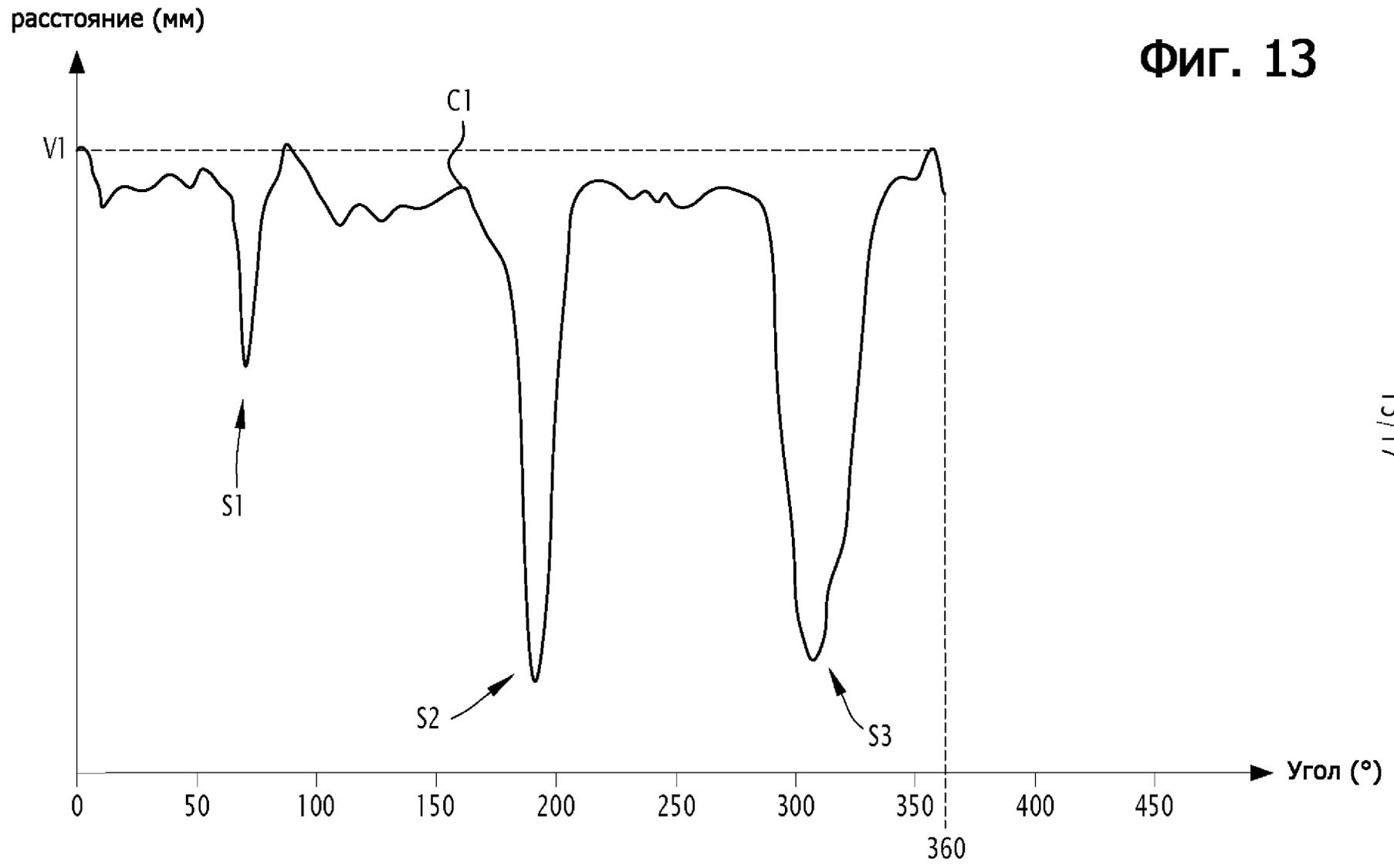


ФИГ. 11



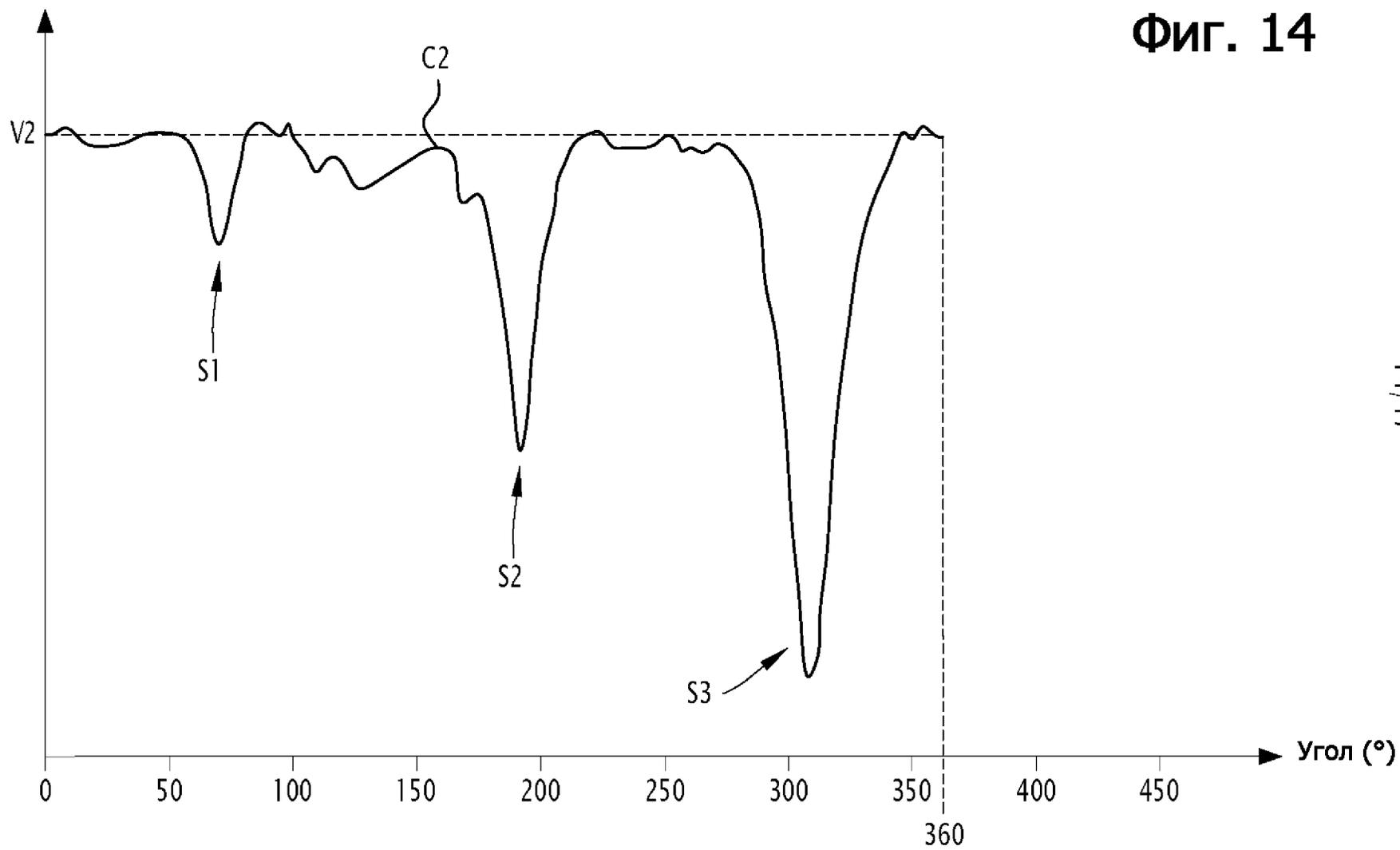
ФИГ. 12

ФИГ. 13



13/17

расстояние (мм)

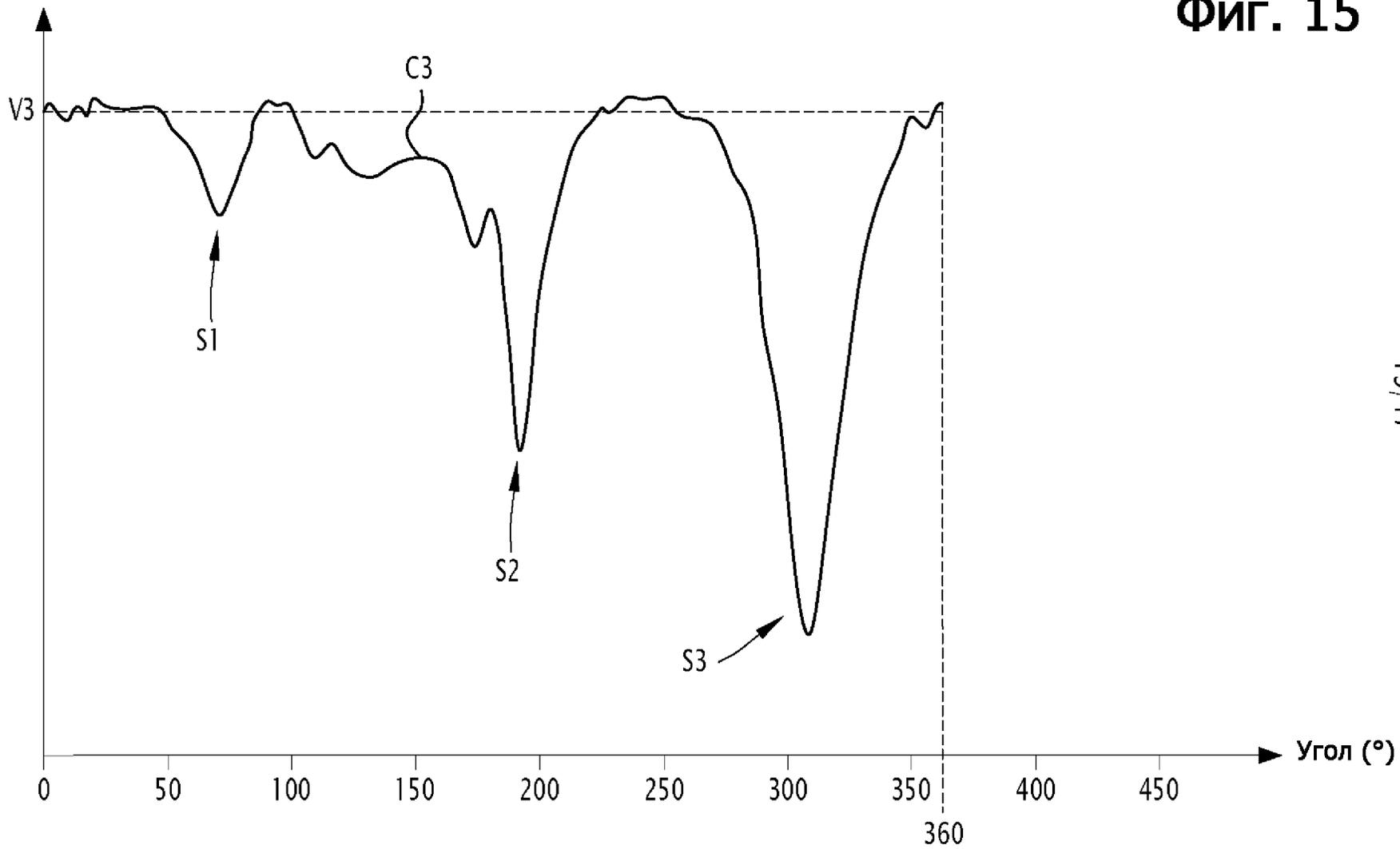


ФИГ. 14

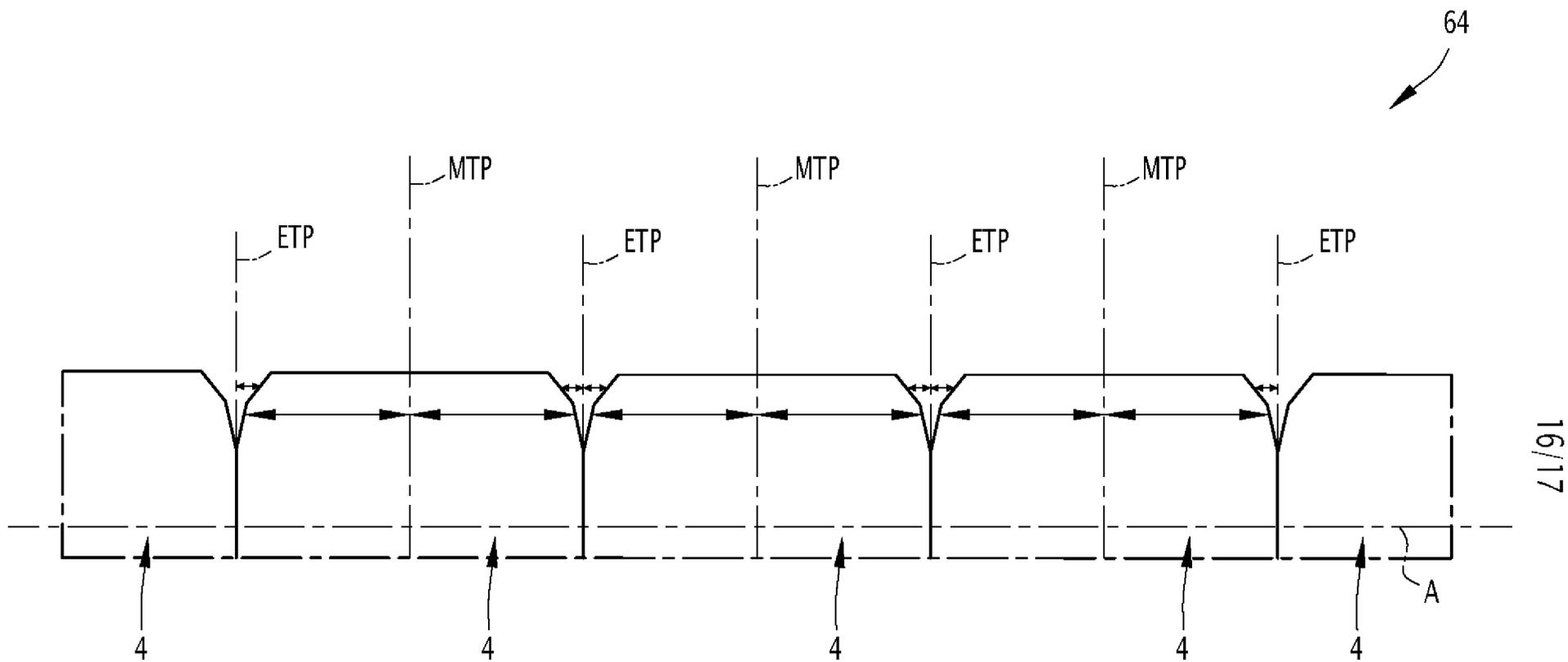
14/17

расстояние (мм)

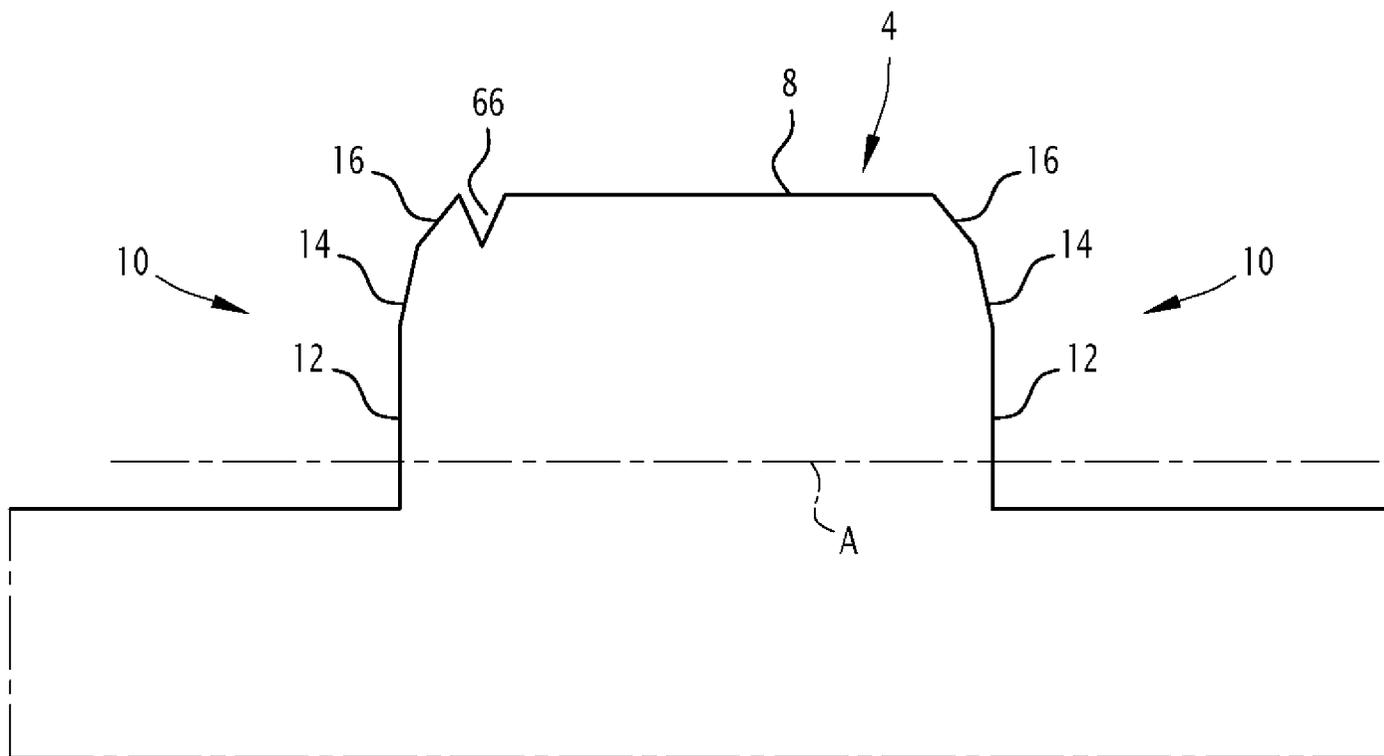
Фиг. 15



15/17



ФИГ. 16



17/17

Фиг. 17