

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **032978**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.08.30

(51) Int. Cl. **B23D 57/00** (2006.01)
B28D 5/04 (2006.01)

(21) Номер заявки
201691205

(22) Дата подачи заявки
2014.07.21

(54) **УСТРОЙСТВО ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРЯМОГО ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ГОРНОЙ ПОРОДЫ**

(31) **61/921,797**

(56) **US-A-4052584**
US-A1-2009320658
DE-U1-9001537

(32) **2013.12.30**

(33) **US**

(43) **2017.02.28**

(86) **PCT/US2014/047461**

(87) **WO 2015/102671 2015.07.09**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БИПИ КОРПОРЕЙШН НОРД
АМЕРИКА ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
**Лакштанов Дмитрий (RU), Фредрих
Джоанн (US)**

(74) Представитель:
**Гизатуллина Е.М., Угрюмов В.М.,
Строкова О.В., Карпенко О.Ю. (RU)**

(57) Предлагаются устройство для подготовки образов и способ подготовки образца горной породы с использованием этого устройства, используемые в связи с цифровым численным моделированием свойств горной породы. Предлагаемое устройство содержит жестко установленный станок для резания алмазной проволокой. С держателем пробы соединены три платформы линейного перемещения. Одна их платформ перемещения перемещает пробу в направлении, параллельном плоскости резания. Две остальные платформы перемещения перемещают пробу в разных направлениях и, будучи вместе приведенными в действие, подают пробу к проволоке на короткое расстояние в направлении вне плоскости резания. В пробе выполняют короткие кусочно-линейные резы для получения образца требуемой формы с малым поперечным сечением.

B1**032978****032978****B1**

Ссылка на родственную заявку

Согласно заявке на данное изобретение испрашивается приоритет согласно положениям § 119 (e) раздела 35 Свода законов США в соответствии с предварительной заявкой на выдачу патента № 61/921797, поданной 30 декабря 2013 г., которая включена в настоящий документ посредством ссылки.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

Настоящее изобретение относится к области лабораторного анализа физических свойств, присущих образцам материала. Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к устройству и способу получения образца горной породы, подходящего для высокоразрешающей томографии и анализа посредством прямого численного моделирования.

Знание свойств материала подповерхностных горных пород важно для оценки месторождений углеводородов в земной коре и формулирования стратегии разработки для этих месторождений. Традиционно, образцы интересующей породной формации подвергают физическим лабораторным испытаниям для определения свойств этих материалов, причем эти свойства называются также физическими или петрофизическими свойствами. Следует, однако, отметить, что эти испытания обычно отнимают много времени и являются дорогостоящими. Например, измерения некоторых свойств физического образца горной породы требуют полного насыщения образца водой, на что может уйти крайне много времени, если горная порода имеет низкую проницаемость. И проблема не только в том, что результаты своевременно не готовы, а еще и в том, что на протяжении эксперимента эти испытания занимают лабораторное оборудование, ограничивая пропускную способность образцов и, таким образом, число образцов, которые можно измерить за разумное время. Желательно повысить своевременность результатов анализа и тем самым ускорить цикл разработки, а также увеличить число анализируемых образцов для повышения статистической достоверности результатов анализа.

Прямое численное моделирование свойств материала по цифровым изображениям горной породы - это недавно появившаяся технология, направленная на определение свойств материала образцов горной породы. В соответствии с этим подходом получают рентгеновское томографическое изображение образца горной породы для создания объема цифрового изображения, представляющего этот образец. Затем к объему цифрового изображения применяют вычислительный эксперимент для моделирования физических механизмов, исходя из которых можно измерять физические свойства горной породы. Используя прямое численное моделирование, можно определять свойства горной породы, такие как пористость, абсолютная проницаемость, относительная проницаемость, пластовый фактор, модули упругости и т.п. В частности, прямое численное моделирование позволяет оценивать свойства материала сложных типов горных пород, таких как насыщенные газом низкопроницаемые песчаные или карбонатные коллекторы, в сроки, значительно более короткие, чем требующиеся для соответствующего физического измерения. Кроме того, согласно этой технологии испытательное оборудование не будет задействовано в течение продолжительных периодов времени, поскольку аналоговые численные условия для физического эксперимента могут непосредственно применяться программным обеспечением компьютерного моделирования.

Значимым фактором в точности оценки свойств материала непременно является качество томографического изображения образца горной породы. Рентгеновская томография основана на обнаружении различий ослабления падающей энергии компонентами материала (например, соотношение пространства минерального скелета и порового пространства или различия состава горной породы). Для получения точных оценок свойств материала важно, чтобы эти значения ослабления точно представляли структуру и материал горной породы. Артефакты (искажения) из-за "увеличения жесткости пучка" или избирательного поглощения фотонов низкой энергии в образцах горной породы неправильной формы ухудшают точность томографического изображения. Более конкретно, увеличение жесткости пучка является результатом вовлеченных механизмов фотопоглощения, рассеяния и фотоэлектрического эффекта, ослабляющих рентгеновское излучение. Поскольку на рентгеновское излучение более низкой энергии эти механизмы оказывают большее влияние, чем на рентгеновское излучение более высокой энергии, говорят, что пучок "ужесточается" в том смысле, что при прохождении через образец повышается средняя энергия пучка. Форма образца может вызывать варьирование этого увеличения жесткости пучка в зависимости от положения в образце. Если поперечное сечение образца имеет правильную форму, например круглую, при последующей обработке данных ослабления можно легко вносить поправки на эти влияния неоднородного увеличения жесткости пучка. Если же образец имеет неправильную форму поперечного сечения или иным образом имеет переменную толщину (например, многоугольное поперечное сечение), последующая обработка затрудняется, если вообще возможна. В случае неправильной поправки на увеличение жесткости пучка объем цифрового изображения не может точно представлять свойства материала горной породы.

Еще один фактор, отражающийся на качестве томографического изображения, представляет собой разрешение изображения, а именно размер наименьшей детали, различаемой визуализацией. Разрешение изображения управляется характеристиками компонентов системы получения изображений и пространственной конфигурации относительно образца. На разрешение изображения влияет размер поперечного

сечения образца, поскольку минимальный размер вокселя соответствует наибольшему поперечному размеру полученного изображения, деленному на число пикселей детектора, представляющих этот наибольший поперечный размер. Образцы, у которых наибольший поперечный размер относительно мал (например, 2 мм), могут, таким образом, визуализироваться с более высоким разрешением изображения или меньшим размером вокселя. Важно также максимально увеличить "поле обзора" объема изображения, чтобы при полном освещении охватить наибольший возможный объем горной породы (т. е. образец все время остается в поле обзора детектора).

Учитывая все эти факторы, было отмечено, что оптимальные форму поперечного сечения и размер для получения высококачественных томографических изображений для прямого численного моделирования с использованием современной технологии обеспечивают цилиндрические образцы горной породы относительно малого диаметра (например, порядка 2-3 мм). Эти маленькие цилиндрические образцы обеспечивают поперечное сечение правильной формы, для которого увеличение жесткости пучка сведено к минимуму, и на него можно вносить поправки, воксели меньшего размера для более высокого разрешения и хорошее поле обзора при полном освещении.

Кроме того, важной оказалась и длина цилиндрического образца в аксиальном направлении. Отмечено, что наибольшая возможная аксиальная протяженность образца максимально увеличивает объем материала, непрерывно визуализируемый системой получения спиральных изображений, а также экономит время при подготовке и размещении образцов для системы получения стандартных (круглых) изображений. Отображаемый объем материала особенно должен быть максимально увеличен в случае крупнозернистой и неоднородной горной породы для получения отображаемого объема, являющегося статистически показательным в отношении формации, из которой был взят образец.

Учитывая эти факторы в совокупности, для построения томографического изображения для прямого численного моделирования с использованием обычных систем получения изображений желателен цилиндрический образец горной породы малого поперечного сечения (например, менее 3 мм) и относительно большой аксиальной длины (например, более 10 мм). Для выполнения этих геометрических требований необходима вырезка образца, который затем должен быть визуализирован, из более крупного образца (например, из образца керна, буровой мелочи и т.д.), который сам получен из интересующей толщи пород.

В дополнение к этим геометрическим требованиям, точное прямое численное моделирование требует, чтобы в образце, подлежащем визуализации, сохранялась целостность материала формации, из которой взят образец. Более конкретно, при подготовке образца не должен убираться зернистый материал с краев объема образца, не должны создаваться изломы или трещины в зернах или минеральном скелете, которых раньше не было, не должны ослабляться зерна по периметру образца или иным образом деформироваться формы зерен или характеристики порового пространства. Это требует аккуратного, прямого и неразрушающего резания через отдельные зерна горной породы.

Обычно колонковое бурение объема горной породы для получения небольшого цилиндрического образца, подходящего для визуализации, осуществляется путем бурения полым буровым долотом, обычно называемым "колонковым долотом". Отмечено, что этот способ отбора керна подходит для надежного получения образцов такого малого размера, как 4 мм в диаметре, из некоторых типов горных пород. Однако при меньших диаметрах этот подход обычно вызывает раскалывание или излом зерен горной породы, что разрушает образец. Кроме того, отбор керна, таким образом, оказался неподходящим для некоторых типов горных пород, особенно для горной породы, содержащей зернистый или осадочный материал, не являющийся высокоуплотненным.

Кроме того, обычные колонковые долота ограничены в аксиальной длине получаемого тонкого цилиндрического образца. Типично, максимальная аксиальная длина образца керна диаметром 3 мм, получаемого колонковым долотом, составляет порядка 5 мм. Как уже отмечалось, желательно получать образцы для визуализации, которые значительно длиннее 5 мм, особенно для использования с системами получения спиральных изображений.

Еще один подход к подготовке образцов для построения томографического изображения в контексте прямого численного моделирования представляет собой резку горной породы алмазной дисковой пилой. Этот подход позволяет получать относительно длинные образцы малого поперечного сечения вдоль аксиального размера с минимальным повреждением образца на его обрезанных краях. Но, поскольку дисковая пила может резать только в двухмерной плоскости, подготовленный образец будет иметь прямоугольное поперечное сечение, что приводит к значительной потере изображаемого объема, требуемого для поправки на увеличение жесткости пучка, учитывая неодинаковые расстояния, проходящие падающей энергией в образце. Например, результирующий объем изображения от параллелепипедного образца содержит лишь приблизительно 60% вокселей, которые можно получить от цилиндрического образца аналогичных размеров. Другие недостатки, обусловленные параллелепипедной формой образца, включают плохую совместимость образца с измерительными ячейками анализатора или датчиками давления и неспособность выполнить оценки "области интереса".

Как дополнительная предпосылка, в известном уровне техники известна подготовка образцов для микроскопии с использованием алмазной проволоочной пилой. В одном примере обычной алмазной про-

волоочной пилы используют тонкую проволоку из нержавеющей стали, на которую наносят технические алмазы разной зернистости. Движение при резке может быть либо возвратно-поступательным, либо в одном направлении. К примерам обычных алмазных проволоочных пил относятся пилы, выпускаемые компанией Well Diamond Wire Saws, Inc.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения предлагаются устройство и способ получения цилиндрических образцов горной породы с крайне малым диаметром поперечного сечения для использования в связи с построением томографического изображения.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения предлагаются устройство и способ, позволяющие получать эти образцы из различных типов горных пород без значительного нарушения целостности материала образца.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения предлагаются устройство и способ, позволяющие получать эти образцы из слабоуплотненной горной породы, не требуя при этом пропитки эпоксидной смолой и подобных способов сохранения структурной целостности.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения предлагаются устройство и способ, позволяющие получать образцы с любой из нескольких форм поперечного сечения, включая формы круглого, прямоугольного и многоугольного поперечных сечений.

Другие цели и преимущества вариантов осуществления настоящего изобретения станут очевидными специалистам в данной области техники из последующего описания, выполненного со ссылками на прилагаемые фигуры.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут быть реализованы в устройстве для резания проволокой, содержащем стол, барабан для подачи проволоки и направляющий ролик, вертикально смещенный от барабана для подачи проволоки, причем каждый из них имеет ось, параллельную оси другого, режущую проволоку, намотанную на барабан для подачи проволоки и направляющий ролик, и проходящую от барабана для подачи проволоки вокруг направляющего ролика и обратно к барабану для подачи проволоки, при этом параллельные отрезки режущей проволоки, проходящие между барабаном для подачи проволоки и направляющим роликом, определяют плоскость резания, держатель для удерживания пробы материала для резания режущей проволокой и несколько платформ перемещения, выполненных с возможностью перемещения относительно указанного стола. Несколько платформ перемещения включают в себя платформу перемещения для подачи, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в направлении подачи, которое, по существу, параллельно плоскости резания; первую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в первом направлении под углом к направлению подачи, и вторую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения во втором направлении под углом к направлению подачи.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут быть реализованы и в способе резания образцов горной породы, который предусматривает использование проволоочной пилы для подачи режущей проволоки с барабана для подачи проволоки вокруг направляющего ролика, причем прямой и обратный отрезки режущей проволоки проходят между барабаном для подачи проволоки и направляющим роликом и определяют плоскость резания; резание пути от края пробы горной породы до исходной точки и затем приведение в действие любой или обеих из первой и второй платформ перемещения для линейной подачи пробы в направлении, не параллельном плоскости резания. После линейной подачи пробы в направлении, не параллельном плоскости резания, способ предусматривает остановку подачи пробы до тех пор, пока режущая проволока, по существу, не выпрямится, и повторение процессов приведения в действие и остановки несколько раз для вырезания замкнутой фигуры в пробе, определяющей периметр образца. После этого пробу могут отводить по указанному пути.

Краткое описание фигур

На фиг. 1 представлен вид сбоку устройства для подготовки образцов, конструктивно исполненного в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2 представлен вид в перспективном изображении платформ перемещения и держателя пробы устройства, изображенного на фиг. 1, в соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 3 представлен вид в плане устройства для подготовки образцов, конструктивно исполненного в соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ подготовки образца в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5a-5e представлены схематические виды пробы и подсистемы режущей проволоки устройства, изображенного на фиг. 1, на разных стадиях способа на фиг. 4 в соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5f представлен схематический вид в плане периметра образца, вырезанного из пробы большего размера, на одной стадии способа на фиг. 4 в соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ анализа образца горной породы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

Далее настоящее изобретение будет описано на примерах его вариантов осуществления, а именно воплощенных в устройство, и с применением способа подготовки образца горной породы для использования при анализе посредством численного моделирования свойств горной породы, из которой этот образец был получен, поскольку предполагается, что настоящее изобретение будет особенно полезным при таком практическом применении. Предполагается, однако, что настоящее изобретение будет полезным и выгодным и в других случаях применения, помимо описанных в настоящем документе. Соответственно, следует понимать, что последующее описание приведено лишь как пример и не предназначено для ограничения истинного объема настоящего изобретения.

Как уже отмечалось в разделе "Предшествующий уровень техники настоящего изобретения", варианты осуществления настоящего изобретения относятся к получению образцов горных пород и их анализу посредством прямого численного моделирования. При этом предполагается, что варианты осуществления настоящего изобретения будут особенно полезными при получении образцов горных пород из толщи горных пород, важной при разведке и добыче нефти и газа. Более конкретно, предполагается, что горная порода, из которой будут получены эти образцы, соответствует формациям, оцениваемым системами наземного или морского бурения, используемым для добычи полезных ископаемых, таких как углеводороды (нефть, природный газ и т. д.), вода и т.п., из этих формаций. Как хорошо известно специалистам в данной области техники, оптимизация операций по добыче нефти и газа в большой степени основывается на знании структуры и физических свойств этих толщ горных пород (формаций). Образцы, полученные в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, полезны в понимании атрибутов формаций.

Как будет очевидно из последующего описания, варианты осуществления настоящего изобретения относятся, в частности, к получению небольших образцов горной породы из более крупных образцов интересующей горной породы, ранее добытых из подземного пласта. Во избежание путаницы эти более крупные образцы горной породы в настоящем описании будут именоваться "пробами", а небольшие образцы горной породы, полученные из этих образцов, будут именоваться "образцами". Никакая конкретная коннотация этими отдельными терминами "образцы" и "пробы" не подразумевается; использование этих отдельных терминов просто предназначено для того, чтобы отличать небольшие образцы, полученные в соответствии с настоящим изобретением, от более крупных образцов, из которых эти небольшие образцы получают.

Для подготовки образцов, включая образцы горной породы, полученные для анализа петрофизических свойств, используются обычные станки для резки алмазной проволокой. Примером такого обычного станка для резки алмазной проволокой служит станок 3242 Diamond Wire Cutter, выпускаемый компанией Well Diamond Wire Saws, Inc. Однако в связи с настоящим изобретением отмечено, что обычные станки для резки проволокой, такие как станок 3242 Diamond Wire Cutter, не могут свободно осуществлять резку по криволинейному пути, что требуется для подготовки цилиндрических образцов, особенно образцов с малым (менее 10 мм) диаметром поперечного сечения. Одна из причин этого недостатка заключается в том, что расположение режущей проволоки в этих обычных станках для резки, обычно проходящей вертикально между барабаном для подачи проволоки и направляющим роликом, не позволяет прикладывать к режущей проволоке срезающие силы. В этих обычных станках для резки эти срезающие силы могут вызывать застревание режущей проволоки в обрабатываемом объекте или сход проволоки с направляющего ролика. Кроме того, поскольку алмазная режущая проволока при резке изгибается с кривизной, соответствующей приложенной силе, а также рабочей длине материала обрабатываемого объекта, ровный рез может получаться только в одном направлении, а именно в направлении подачи. Кроме того, обычные станки для резки алмазной проволокой, такие как 3242 Diamond Wire Cutter, обеспечивают лишь одну степень свободы при перемещении режущей проволоки относительно обрабатываемого объекта. Например, 3242 Diamond Wire Cutter поддерживает неподвижное положение обрабатываемого объекта, причем единственным разрешенным перемещением является перемещение режущей проволоки в сторону обрабатываемого объекта и от него. Эта единственная степень свободы, обеспечиваемая обычным станком для резки алмазной проволокой, требует однонаправленного реза.

На фиг. 1 представлена конструкция устройства 10 для подготовки образцов в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. Как станет очевидным из последующего описания, устройство 10 для подготовки образцов может получать небольшие образцы требуемого поперечного сечения, обычно круглого, но и других форм, таких как многоугольники, из пробы большего размера интересующей горной породы. Предполагается, что способ получения проб горных пород из подземного пласта и физическая форма этих проб могут широко варьировать. Примеры проб горных пород, которые могут использоваться в связи с вариантами осуществления настоящего изобретения, включают образцы сплошного отбора керна, образцы керна, отбираемого из стенки ствола скважины, образцы пород из обнажений, буровую мелочь и созданные в лаборатории синтетические образцы горных пород, такие как песчаные пробки и цементированные пробки.

Согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения, изображенному на фиг. 1, устройство 10 для подготовки образцов, содержит стол 11, обеспечивающий устойчивое основание для остальных компонентов устройства 10. Барабан 12 для подачи проволоки установлен на столе 11 с помощью кожуха 11М электродвигателя и приводится электродвигателем по вращению относительно своей оси. Согласно этому варианту осуществления направляющий ролик 14 установлен на столе 11 в вертикальном положении ниже барабана 12 для подачи проволоки, причем его ось параллельна оси барабана 12 для подачи проволоки. Алмазная режущая проволока 13 наматывается на барабан 12 для подачи проволоки, на направляющий ролик 14 и обратно на барабан 12 для подачи проволоки, как показано. Предусмотрена возможность регулировки вертикального положения направляющего ролика 14 относительно барабана 12 для подачи проволоки, чтобы поддерживать требуемую степень натяжения в режущей проволоке 13. Для подготовки образцов типичных интересующих горных пород подходит режущая проволока 13 обычной конструкции, например, импрегнированная алмазами проволока зернистостью около 60 мкм и диаметром около 300 мкм; естественно, зернистость и диаметр режущей проволоки могут варьировать в зависимости от материалов образцов.

Стол 11, барабан 12 для подачи проволоки и направляющий ролик 14 в устройстве 10 являются компонентами, подобными предусмотренным в обычных станках для резки алмазной проволокой, таких как 3242 Diamond Wire Cutter. В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения кожух 11М электродвигателя может быть выполнен как одно целое со столом 11 или, альтернативно, может представлять собой отдельный блок, прикрепленный к столу 11. При обычной работе станка 3242 Diamond Wire Cutter кожух электродвигателя перемещается относительно стола для подачи режущей проволоки к пробе. Однако в соответствии с настоящим изобретением, если кожух 11М электродвигателя представляет собой отдельный блок, кожух 11М электродвигателя прикреплен на столе 11 в неподвижном положении винтами 23 с головкой и кронштейном 25, как показано на фиг. 1; еще одна пара винтов 23 с головкой и еще один кронштейн 25 присутствуют и с другой стороны кожуха 11М электродвигателя на этой фиг. 1. Поскольку кожух 11М электродвигателя находится в неподвижном положении относительно стола 11, барабан 12 для подачи проволоки и направляющий ролик 14 и, следовательно, режущая проволока 13 тоже находятся в неподвижном положении относительно стола 11.

И напротив, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения устройство 10 конструктивно исполнено таким, что обрабатываемый объект, а именно проба 15 на фиг. 1, из которой должны быть вырезаны образцы горной породы, является подвижным с несколькими степенями свободы относительно режущей проволоки 13, которая поддерживается в фиксированном положении. В устройстве 10, показанном на фиг. 1, положение позиционирующего стола 21 на столе 11 можно регулировать по дорожкам в позиционирующем столе 21, а затем фиксировать крепежными винтами 22. В любом случае предполагается, что после регулировки и установки позиционирующий стол 21 при подготовке образцов будет оставаться зафиксированным в некотором положении относительно стола 11.

В соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения с установочной плитой 21 связаны три платформы 18, 19, 20 линейного перемещения. Более конкретно, платформы 18, 19, 20 линейного перемещения в этом примере являются модульными позиционирующими платформами, установленными ярусами относительно друг друга. Как показано, в общем, на фиг. 1 и подробнее на фиг. 2, платформа 18 у-перемещения установлена на позиционирующем столе 21, платформа 19 х-перемещения установлена на платформе 18 у-перемещения, а платформа 20 f-перемещения установлена на платформе 19 х-перемещения.

Платформы 18, 19, 20 перемещения согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения представляют собой обычные платформы линейного перемещения, известные в данной области техники. Например, каждая из платформ 18, 19, 20 перемещения может конструктивно исполняться имеющей корпус платформы, который может быть прикреплен (например, болтами) к неподвижной плите, и каретку, которая может перемещаться в одном направлении по дорожке или направляющей под управлением привода. На фиг. 2 и 3 представлены приводы 18а, 19а, 20а с микрометром, соединенные с платформами 18, 19, 20 перемещения соответственно. Направления перемещения, обеспечиваемые каждой из платформ 18, 19, 20 перемещения, указаны на фиг. 2 и 3 стрелками "у", "х" и "f" соответственно. Примером платформы линейного перемещения, подходящей для использования в качестве платформ 18, 19, 20 перемещения, служит платформа ручного перемещения M-UMR 8.51, оснащенная приводом с микрометром BM17.51 производства компании Newport Spectra-Physics, Ltd.

Для примера модульных платформ 18, 19, 20 перемещения, как показано на фиг. 1 и 2 и как упомянуто выше, корпус платформы 18 у-перемещения прикреплен болтами или подобным образом к установочной плите 21, так что перемещение ее каретки относительно ее корпуса и, следовательно, относительно установочной плиты 21, будет в направлении у, как показано на фиг. 2. В этом примере корпус платформы 19 х-перемещения прикреплен болтами или подобным образом к каретке платформы 18 у-перемещения, так что перемещение ее каретки относительно ее корпуса и, следовательно, относительно каретки платформы 18 у-перемещения будет в направлении х, показанном на фиг. 2. В этом примере к каретке платформы 19 х-перемещения прикреплена L-образная плита 26, и корпус платформы 20 f-перемещения прикреплен к плите 26 болтами 27, и при этом платформа 20 f-перемещения установлена

перпендикулярно платформам 18, 19 перемещения. Перемещение каретки платформы 20 f-перемещения относительно ее корпуса и, следовательно, относительно каретки платформы 19 x-перемещения будет в направлении f, показанном на фиг. 2.

Согласно этому варианту осуществления, как описано выше и будет описано ниже, направляющий ролик 14 расположен вертикально относительно барабана 12 для подачи проволоки, при этом пути режущей проволоки 13 между барабаном 12 для подачи проволоки и направляющим роликом 14, по существу, вертикальны; при таком расположении направления хода платформы 19 x-перемещения, платформы 18 y-перемещения и платформы 20 f-перемещения, все, лежат в горизонтальной плоскости, перпендикулярной плоскости резания, определяемой вертикальными путями режущей проволоки 13. Предполагается, однако, что направляющий ролик 14 может быть расположен в направлении, ином, нежели вертикальное относительно барабана 12 для подачи проволоки. Например, направляющий ролик 14 может быть установлен так, что пути режущей проволоки 13 проходят горизонтально. В этом случае платформа 19 x-перемещения, платформа 18 y-перемещения и платформа 20 f-перемещения будут развернуты соответственно, чтобы их соответствующие направления хода были в вертикальной плоскости, перпендикулярной горизонтальной плоскости. Естественно, в связи с этим вариантом осуществления предусматриваются и другие ориентации, кроме вертикальной и горизонтальной.

Предполагается, что альтернативно могут быть использованы и другие типы платформ перемещения, включая объединенные платформы перемещения, заменяющие две или более модульные платформы 18, 19, 20 перемещения. Альтернативно, одна или несколько платформ 18, 19, 20 перемещения могут быть оснащены электроприводом вместо приводов 18а, 20а с микрометром, как показано. В соответствии с этим альтернативным вариантом осуществления, в котором приводы 18а, 19а, 20а снабжены электродвигателем, предполагается, что устройство 10 для подготовки образцов может также содержать, при необходимости в этом, компьютер или иной программируемый контроллер, способный управлять этими приводами 18а, 19а, 20а в соответствии с предварительно запрограммированной последовательностью, чтобы автоматизировать резание образца из пробы 15 согласующимся и повторяемым образом. Согласно этому варианту осуществления платформа 19 x-перемещения и платформа 18 y-перемещения расположены ортогонально друг к другу и, следовательно, имеют каретки, которые могут перемещаться в направлениях, по существу перпендикулярных друг другу, поскольку считается, что такое расположение обеспечит эффективное управление. Предполагается также, что, при необходимости в этом, платформы перемещения альтернативно могут быть ориентированы под другим, а не прямым углом друг к другу.

Согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения проба 15 (показанная на фиг. 1) удерживается держателем 16 пробы, установленным на платформе 20 f-перемещения, с помощью вертикальной регулировочной плиты 17 и консольного устройства 28. Предполагается, что держатель 16 пробы содержит губки или иной тип зажимного устройства для надежного удерживания пробы 15 в процессе резания. Вертикальная регулировочная плита 17 позволяет регулировать вертикальное положение держателя 16 пробы и, таким образом, пробы 15. Согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения жесткое соединение держателя 16 пробы с платформой 20 f-перемещения и ярусным расположением платформ 18, 19, 20 перемещения обеспечивает перемещение при помощи одной или нескольких платформ 18, 19, 20 для осуществления передвижения пробы 15 в соответствующих направлениях.

Как показано на виде в плане, изображенном на фиг. 3, в сочетании с фиг. 1 и 2, предполагается, что направление f перемещения платформой 20 f-перемещения будет, по существу, параллельным плоскости резания, определенной двумя путями, которыми следует режущая проволока 13, выходящая из барабана 12 для подачи проволоки, проходящая вокруг направляющего ролика 14 и возвращающаяся обратно. В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, как подробнее будет описано ниже, перемещение пробы 15 в направлении f используют для подачи пробы 15 к проволоке 13 и для отвода пробы 15 от проволоки 13. На протяжении остальной части процесса резания, особенно при резании замкнутой фигуры для образования образца, вырезаемого из пробы 15, перемещение пробы 15 будет управляться платформой 19 x-перемещения и платформой 18 y-перемещения.

В соответствии с этим вариантом осуществления настоящего изобретения устройство 10 обеспечивает степени свободы в направлениях x и y, позволяющие вырезать из проб горных пород образца меняющейся и произвольной формы поперечного сечения. И, как будет подробнее описано ниже, работа устройства 10 в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения позволяет вырезать образцы очень малого диаметра поперечного сечения, уменьшая, таким образом, размер вокселя изображаемого объема, что повышает точность оценок свойств материала, полученных прямым численным моделированием.

Теперь со ссылками на фиг. 4 в сочетании со схемами на фиг. 5а-5е будет описана работа устройства 10 при подготовке образца из пробы горной породы в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Как уже отмечалось, пробу 15 могут получать любым из нескольких обычных путей. В контексте нефтегазовой промышленности пробу 15 будут обычно получать бурением разведочной или эксплуатационной скважин, при этом ее могут отбирать из образцов сплошного отбора керна, образцов керна, отбираемого из стенки ствола скважины, образцов пород из обнажений и буровой мелочи; альтернативно, пробу 15 могут изготавливать из созданных в лаборатории синтетических образцов

горных пород, таких как песчаные пробки или цементированные пробки. В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения характер горной породы, из которой состоит проба 15, может варьировать в весьма широких пределах, включая менее уплотненные и структурно прочные материалы, такие как песчаники, глины, и другой гранулированный или осадочный материал, не являющийся высокоуплотненным.

Процесс 200 подготовки образца начинают согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения с процесса 30, в котором пробу 15 помещают в держатель 16 пробы и удерживают им. Для примера, в котором держатель 16 пробы содержит пару губок, процесс 30 состоит из закрепления пробы 15 в этих губках. Во многих случаях из пробы 15 необходимо вырезать цилиндрический образец; в таком случае необходимо, чтобы проба 15 имела плоские верхнюю и нижнюю поверхности и характеризовалась толщиной, соответствующей требуемой длине получаемого из него образца. Как показано на фиг. 5а, проба 15 может иметь цилиндрическую форму (т.е. дискообразную), что является типичным для приготовленных керновых образцов, полученных в процессе бурения.

После помещения в держатель 16 пробы образец 15 позиционируют и ориентируют при желаемом положении режущей проволоки 13 в процессе 32, как показано на фиг. 5а. Вертикальное положение пробы 15 регулируют с помощью вертикальной регулировочной плиты 17. Для случая дискообразной пробы 15 ее плоские поверхности оптимально будут ориентированы перпендикулярно режущей проволоке 13, чтобы получить цилиндрический образец. В процессе 34 платформу 20 f-перемещения выравнивают так, чтобы ее перемещение было параллельным плоскости резания, определенной режущей проволокой 13. Рассмотрим фиг. 5а, режущая проволока 13 показана имеющей два вертикальных отрезка 13d, 13u, проходящих от барабана 12 для подачи проволоки вокруг направляющего ролика 14, расположенного вертикально ниже барабана 12 для подачи проволоки, и обратно, причем вертикальные отрезки 13d, 13u, по существу, параллельны друг другу, определяя плоскость, именуемую в настоящем описании плоскостью резания. В этом примере электродвигатель 11М работает таким образом, что движение резания режущей проволоки 13 является возвратно-поступательным, что типично для проволочных пил. Альтернативно, ролик 14, при необходимости в этом, может быть заменен вторым барабаном для подачи проволоки. В примере устройства 10, описанном выше, предусмотрено, что выравнивание платформы 20 f-перемещения в процессе 34 осуществляют перемещением установочной плиты 21 (на котором установлены платформы 18, 19, 20 перемещения) относительно стола 11 и закреплением установочной плиты 21 в требуемом положении путем затяжки крепежными винтами 22. Правильное выравнивание платформы 20 f-перемещения осуществляют так, что перемещение параллельно плоскости резания обеспечивает то, что проба 15 может быть вырезана с требуемой длиной без прикладывания срезающих сил к отрезку 13d проволоки. В процессе 34 выравнивания пробу 15 помещают настолько близко к отрезку 13d проволоки, насколько это практически осуществимо, при этом большая часть диапазона перемещения платформы 20 f-перемещения будет в пределах пробы 15; кроме того, предпочтительно, чтобы приводы 18а, 19а платформ 18, 19 перемещения соответственно были вначале настроены на их средние значения, чтобы каждый мог осуществлять максимальное перемещение в любом направлении.

В процессе 36 осуществляют приведение в действие платформы 20 f-перемещения (посредством привода 20а) для подачи пробы 15 к отрезку 13d режущей проволоки и прижатия к ней. Это перемещение пробы 15 только в направлении f изгибает отрезок 13d режущей проволоки, как показано на фиг. 5b, но этот изгиб происходит в плоскости резания, определенной отрезками 13d, 13u, и, раз так, прикладывает минимальные срезающие силы на режущую проволоку 13. Благодаря этому резание в процессе 36 (при необходимости в этом) могут осуществлять безостановочно. В любом случае процесс 36 продолжают до тех пор, пока в пробу 15 не врежут путь требуемой длины. Более конкретно, предполагается, этот путь будет проходить от периметра пробы 15 до точки в пробе 15, в которой начнется периметр вырезаемого образца.

После процесса 36 начинают вырезание периметра образца из пробы 15 в процессе 38 с приведением в действие одного или обоих приводов 18а, 19а для перемещения любой или обеих платформ 18, 19 x- и y-перемещения соответственно и, таким образом, пробы 15 на короткое расстояние в соответствии с требуемым периметром образца. В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения результирующее перемещение любой или обеих платформ 18, 19 x- и y-перемещения будет обычно вне плоскости резания в f-направлении, определенной отрезками 13d, 13u проволоки, и поэтому к отрезку 13d проволоки будут прикладываться срезающие силы. Однако действие этих срезающих сил минимизируется ограничением расстояния и скорости, на которое и с которой пробу 15 перемещают в процессе 38. Например, расстояние перемещения в процессе 38 очень короткое, например не более приблизительно 100 мкм, для примера устройства 10 на базе станка модели 3242 Diamond Wire Cutter, упомянутого выше. Скорость подачи режущей проволоки 13 с барабана 12 для подачи проволоки будет зависеть от целого ряда факторов, в том числе от состава пробы 15, толщины режущей проволоки 13, расстояния перемещения для каждого передвижения пробы 15 и т.п. Например, для резания пробы 15 из песчаника режущая проволока 13 диаметром около 100 мкм может подаваться со скоростью приблизительно до 50 мкм/с. Более толстая режущая проволока 13 может допускать более высокую максимальную скорость подачи. В любом случае предполагается, что специалисты в данной области техники после прочтения

настоящего описания легко смогут определить подходящие скорость подачи, тип и диаметр режущей проволоки. Эти ограничения максимального расстояния перемещения и максимальной скорости подачи проволоки будут ограничивать кривизну отрезка 13d проволоки относительно вертикали и, таким образом, ограничивать срезающие силы.

После короткого перемещения в процессе 38 перемещение пробы 15 останавливают в процессе 40, по меньшей мере, на минимальный промежуток времени, чтобы позволить отрезку 13d режущей проволоки вернуться к прямой ориентации. На протяжении этого времени ожидания в процессе 40 отрезок 13d режущей проволоки удаляет материал из пробы 15 по длине перемещения в процессе 38, выпрямляясь при этом, в результате чего происходит возврат отрезка 13d режущей проволоки к вертикали. Предполагается, что для большинства интересующих материалов горных пород в нефтегазовом контексте время ожидания в процессе 40, пока отрезок 13d режущей проволоки станет, по существу, прямым, будет по меньшей мере приблизительно от 3 до 5 с. Если проба 15 пропитана эпоксидной смолой для уменьшения повреждения, как это обычно делается для средне- и слабоуплотненных образцов, это время ожидания может быть намного дольше, например несколько минут. Отмечено, что процесс 40 ожидания не только благоприятно влияет на состояние режущей проволоки 13, но и обеспечивает прямой рез по глубине пробы 15 и, таким образом, надежный контроль формы образца, которая в конечном итоге будет получена. В конце этого времени ожидания сочетание процесса 38 перемещения и процесса 40 ожидания приведет к вырезанию короткого линейного расстояния в пробе 15.

В ходе процесса 41 принятия решения пользователь определяет, завершен ли периметр образца, вырезаемого из пробы 15, а именно завершило ли последнее линейное резание замкнутую фигуру в пробе 15. Если нет (решение "нет" в процессе 41), повторяют процесс 38 путем приведения в действие любой или обеих платформ 18 x-перемещения и 19 y-перемещения для передвижения на короткое расстояние. Для резания аппроксимированного круга в пробе 15 направление каждого последующего процесса 38 перемещения будет отличаться от предыдущего. Альтернативно, устройство 10 и его работа в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения могут использоваться и для резания многоугольного поперечного сечения; в этом случае перемещение в каждом следующем процессе 38 может быть в том же направлении, что и предыдущем. Затем процесс 40 ожидания могут повторять, чтобы позволить отрезку 13d проволоки выполнить резание и удалить материал, выпрямляясь при этом, чтобы вернуться к вертикали. Затем эти процессы 38, 40 повторяют, пока не определят (в процессе 41 принятия решения), что вырезан полный периметр образца.

На фиг. 5c представлена схематическая иллюстрация пробы 15 после нескольких кусочно-линейных резов в результате повторных процессов 38, 40 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. На стадии процесса, показанной на фиг. 5c, режущей проволокой 13 вырезана часть круглого поперечного сечения. На фиг. 5f представлена более подробная иллюстрация на виде в плане указанного частичного вырезания образца. Как показано на фиг. 5f, путь 50 вырезали в процессе 36 от наружной поверхности пробы 15 до точки 51. В этом примере малые линейные резы в процессах 38, 40 начинают с точки 51 резом 52₁ и повторяют для образования резов 52₂, 52₃ и т. д. в направлении против часовой стрелки (конечные точки каждого реза 52 выделены жирным кружочком в целях этого объяснения, но фактически присутствовать в пробе 15 не будут).

Как показано на фиг. 4, при необходимости в этом, могут выполнять процесс 42 нанесения клея в одной или нескольких точках во время повторных линейных резаний в процессах 38, 40. В процессе 42 вдоль уже вырезанной части периметра образца, например, после того, как вырезаны примерно три четверти периметра, наносят клей для удерживания образца от выпадения по завершении вырезания. Присутствие этого клея, нанесенного в процессе 42, обеспечивает также, что образец полностью вырезается из пробы 15, а не выламывается преждевременно из пробы 15, когда вырезание периметра приближается к завершению.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения повторные процессы 38, 40 продолжают для образования резов 52 аналогичным образом до тех пор, пока замкнутая фигура не будет образована при возвращении в точку 51, что определяют в ходе процесса 41 принятия решения. Эта стадия процесса проиллюстрирована на фиг. 5d при помощи образа S, имеющего периметр, определенный замкнутой фигурой, образованной последовательностью линейных резов 52. В этом примере, поскольку каждый из резов 52 довольно короткий, например не более приблизительно 100 мкм, последовательность резов 52 представляет собой хорошую аппроксимацию круга 54, в результате чего получают цилиндрический образец из дискообразной пробы 15. Например, предполагается, что порядка 60 резов по 100 мкм вырежут круг диаметром около 2 мм, что является весьма приемлемым в контексте томографии и прямого численного моделирования.

По завершении повторных линейных резов в процессах 38, 40 (в ходе процесса 41 принятия решения выбран результат "да") перемещение в направлениях x и y прекращается. Согласно примеру на фиг. 5f отрезок 13d проволоки в этот момент находится в точке 51. Затем выполняют процесс 44 для отвода пробы 15 (с образом S) от режущей проволоки 13 путем приведения в действие платформы 20 f-перемещения для передвижения в направлении, параллельном плоскости резания (в направлении, противоположном направлению в процессе 36). Предполагается, что в процессе 44 обычно будет иметь место

малое дополнительное резание пробы 15 или его вообще не будет.

После процесса 44 образец S затем извлекают из пробы 15, например, путем удаления клея, нанесенного в процессе 42, если он есть, или иным образом выдавливая образец S из пробы 15 в процессе 46. На фиг. 5e представлена схематическая иллюстрация извлечения образца S из пробы 15 после отвода пробы 15 от отрезка 13d режущей проволоки в процессе 44. Пробу 15 могут удалять из держателя 16 пробы до процесса 46 извлечения или после него. Альтернативно, пробу 15 могут повторно устанавливать в держатель 16 пробы (с образцом S, оставленном в пробе 15 и удерживаемой клеем при необходимости в этом), и процесс 200 подготовки образца повторяют, если из этого же пробы 15 необходимо вырезать еще один образец.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, описанным выше, в котором проба 15 подается платформой 20 f-перемещения в процессе 36 в направлении f, параллельном плоскости резания отрезков 13d, 13u проволоки, общее время резания можно минимизировать, поскольку резание пробы 15 от ее края до исходной точки 51 можно осуществлять непрерывно, без остановки. Альтернативно, пробу 15 можно резать от его края до исходной точки 51 по пути, проходящему в направлениях, не параллельных плоскости резания, посредством нескольких коротких кусочно-линейных резов, выполняемых перемещениями в направлениях x и y платформами 18, 19 перемещения, разделенными временами ожидания, как в случае процессов 38 и 40 для резания периметра образца. Этот непараллельный подход может использоваться для конкретных геометрий образца, или если необходимо обойти специфические части пробы 15.

Как уже отмечалось, устройство 10 для подготовки образцов конструктивно может быть выполнено содержащим компьютер или иной программируемый контроллер, управляющий последовательностью, в которой действуют приводы 18a, 19a, 20a для перемещения пробы 15. Этот автоматизированный подход к подготовке

образца может быть особенно приемлемым, чтобы обеспечить выжидание в течение соответствующего периода времени после выполнения одного из кусочно-линейных резов и перед началом следующего реза. В связи с этой автоматической реализацией дополнительно предполагается, что в устройство 10 для подготовки образцов могут быть встроены датчики, например, для считывания момента, в который проволока 13d возвращается к вертикали после перемещения пробы 15, после чего может начаться следующее перемещение пробы 15 в направлении следующего реза.

Далее со ссылками на фиг. 6 будет описан общий процесс оценки свойств материала с использованием прямого численного моделирования по образцам, приготовленным в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Процесс оценки начинают с процесса 200 подготовки образца, осуществляемого, как описано выше со ссылками на фиг. 4 и 5a-5f в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, для получения одного или нескольких образцов горной породы для визуализации.

В процессе 202 система визуализации получает двухмерные (2D) или трехмерные (3D) изображения или иные соответствующие представления изображений образца горной породы, приготовленной в процессе 200. Эти изображения и представления, полученные в процессе 202, содержат детали внутренней структуры образцов. Примером устройства формирования изображений, используемого в процессе 202, является сканер рентгеновской компьютерной томографии (КТ) типа, конструкции или других атрибутов, соответствующих любому из ряда рентгеновских устройств, способных создавать изображение, представляющее внутреннюю структуру образца с требуемым разрешением. Например, могут получать множество двухмерных (2D) томографических изображений образца и передавать их в вычислительное устройство, которое затем строит объем трехмерного (3D) цифрового изображения, соответствующий образцу. Обычными вычислительными устройствами, подходящими для выполнения этого построения и последующего анализа, могут быть любые из ряда обычных компьютеров, например, настольный компьютер или автоматическое рабочее место (АРМ), переносной компьютер, компьютер-сервер, планшетный компьютер и т.п., имеющие достаточную вычислительную мощность для выполнения требуемых операций.

Конкретные обычные технологии получения и обработки объемов 3D цифровых изображений образца в процессе 202 включают в себя, среди прочего, рентгеновскую томографию, рентгеновскую микротомографию, рентгеновскую нанотомографию, сканирующую электронную микроскопию со сфокусированным ионным пучком и ядерный магнитный резонанс.

Этот объем изображения обычно представлен регулярными 3D элементами, называемыми объемными элементами или чаще "вокселями", каждый из которых имеет связанную численную величину или амплитуду, представляющую относительные свойства материала изображаемого образца в этом месте представленной среды. В процессе 210 вычислительное устройство выполняет сегментацию или иные способы усиления изображения на объеме цифрового изображения образца, чтобы отличить и пометить разные компоненты в объеме изображения. Например, процесс 210 сегментации может идентифицировать значительные упругие компоненты, такие как поровое пространство, и минералогические компоненты (например, глины и кварц), которые могут влиять на упругие свойства образца. Процесс 210 сегментации может выполняться для идентификации более двух значительных упругих фаз, представляю-

щих такие составляющие материала, как поровое пространство, фракция глины, контакты зерен и отдельные зерна и минералы. Конкретный алгоритм сегментации, используемый вычислительным устройством в процессе 210, может варьировать в зависимости от требуемого анализа; обычно применяют некоторый тип "задания порога" для группирования вокселей, характеризующихся подобными амплитудами. В процесс 210 может быть включена обычная обработка изображений для усиления объема изображения, снижения шума и т. д., как известно в данной области техники.

После этого в процессе 220 вычислительное устройство выполняет прямое численное моделирование для анализа одного или нескольких физических свойств образца, обычно путем численного анализа объема цифрового изображения с определенными границами. Свойства, которые могут определяться в процессе 220, включают в себя свойства объемной упругости горной породы. В контексте разведки и добычи нефти и газа в процессе 220 могут быть определены интересующие петрофизические свойства, такие как пористость, проницаемость, пластовый фактор, абсолютная проницаемость, относительная проницаемость, удельная электропроводность, инъекция ртути в капилляры и т.п. Эти петрофизические свойства могут быть оценены с помощью соответствующей дискретизации или сетки возникшего порового пространства в сочетании с соответствующим численным моделированием, например, с прямым численным моделированием потока однофазной текучей среды для расчета абсолютной проницаемости. Определение некоторых из этих петрофизических свойств в процессе 220 может потребовать также численного моделирования с использованием методов конечных элементов, методов конечных разностей, методов конечных объемов, методов решеточных уравнений Больцмана или любых других из самых разных численных подходов.

Способ подготовки образцов горных пород и устройство для выполнения этой подготовки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения обеспечивают важные выгоды и преимущества, особенно для образцов, подвергаемых рентгеновской томографии для прямого численного моделирования. Варианты осуществления настоящего изобретения позволяют подготавливать цилиндрические образцы горных пород с крайне малыми диаметрами поперечного сечения, например диаметрами 3 мм или менее, что обеспечивает построение томографического изображения с крайне высоким разрешением, которое необходимо для анализа мелкой структурной детали. Эти образцы можно получать из самых разных типов горных пород, включая слабоуплотненную горную породу или горную породу, хрупкую по иной причине, без значительного нарушения целостности материала или поровой структуры. Кроме того, варианты осуществления настоящего изобретения обеспечивают гибкость процесса подготовки образцов, позволяя вырезать образцы, имеющие любую из целого ряда форм поперечного сечения, включая образцы с круглым, прямоугольным и многоугольным поперечными сечениями.

Хотя настоящее изобретение описано в соответствии с одним или несколькими его вариантами осуществления, естественно предполагается, что после прочтения настоящего описания со ссылками на фигуры специалистам в данной области техники будут очевидны модификации этих вариантов осуществления и альтернативы им, причем эти модификации и альтернативы получают преимущества и выгоды настоящего изобретения. Предполагается, что эти модификации и альтернативы находятся в пределах объема настоящего изобретения, определенного прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для резания проволокой, содержащее
 - стол;
 - барабан для подачи проволоки;
 - направляющий ролик, вертикально смещенный от барабана для подачи проволоки,
 - причем каждый из направляющего ролика и барабана для подачи проволоки имеет ось, параллельную оси другого;
 - режущую проволоку, намотанную на барабан для подачи проволоки и направляющий ролик, и проходящую от барабана для подачи проволоки вокруг направляющего ролика и обратно к барабану для подачи проволоки, при этом параллельные отрезки режущей проволоки между барабаном для подачи проволоки и направляющим роликом определяют плоскость резания;
 - держатель для удерживания пробы материала для резания режущей проволокой;
 - несколько платформ перемещения, которые выполнены с возможностью перемещения относительно указанного стола, включающих в себя
 - платформу перемещения для подачи, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в направлении подачи, которое, по существу, параллельно плоскости резания;
 - первую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в первом направлении под углом к направлению подачи; и
 - вторую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения во втором направлении под углом к направлению подачи,
 - причем направления подачи, первое и второе направления, лежат в одной плоскости.
2. Устройство по п. 1, в котором первое и второе направления, по существу, перпендикулярны друг

другу.

3. Устройство по п.1, в котором барабан для подачи проволоки и направляющий ролик установлены в неподвижном положении относительно стола.

4. Устройство по п.1, дополнительно содержащее установочную плиту, жестко прикрепленную к столу, при этом каждая из платформ перемещения для подачи и первой и второй платформ перемещения выполнена с возможностью перемещения относительно установочной плиты.

5. Устройство по п.4, в котором держатель образца содержит зажимные губки для удерживания образца и опоры, соединенную с зажимными губками и соединенную с платформой перемещения для подачи, чтобы перемещаться с платформой перемещения для подачи относительно установочной плиты.

6. Устройство по п.5, в котором держатель образца дополнительно содержит вертикальную регулировочную плиту для регулирования вертикального положения зажимных губок относительно установочной плиты.

7. Устройство по п.5, в котором платформа перемещения для подачи содержит платформу линейного перемещения, соединенную с опорой держателя и позиционирующим столом; и привод, соединенный с платформой линейного перемещения, для управления перемещением платформы линейного перемещения в направлении подачи, причем каждая из первой и второй платформ перемещения содержит платформу линейного перемещения, соединенную с позиционирующим столом; и привод для управления перемещением платформы линейного перемещения.

8. Устройство по п.7, в котором каждый из приводов включает в себя привод с микрометром.

9. Устройство по п.7, в котором каждый из приводов включает в себя электропривод.

10. Устройство по п.9, дополнительно содержащее программируемый контроллер, подключенный к каждому из приводов и запрограммированный управлять приводами для передвижения платформ перемещения в соответствии с предварительно запрограммированной последовательностью.

11. Устройство по п.7, в котором каждая из платформ перемещения для подачи и первой и второй платформ перемещения включает в себя модульную платформу перемещения, при этом первая платформа перемещения установлена на установочной плите, вторая платформа перемещения установлена на первой платформе перемещения, а платформа перемещения для подачи установлена на второй платформе перемещения.

12. Устройство по п.7, в котором две или более из платформ перемещения для подачи и первой и второй платформ перемещения включают в себя объединенную платформу перемещения.

13. Способ вырезания образца горной породы, предусматривающий

использование устройства проволоочной пилы для подачи режущей проволоки с барабана для подачи проволоки вокруг направляющего ролика, причем прямой и обратный вертикальные отрезки режущей проволоки проходят между барабаном для подачи проволоки и указанным направляющим роликом, определяя плоскость резания; указанное устройство включает держатель для удерживания пробы горной породы для резания режущей проволокой и несколько платформ перемещения, которые включают платформу перемещения для подачи, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в направлении подачи, которое, по существу, параллельно плоскости резания; первую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения в первом направлении под углом к направлению подачи; и вторую платформу перемещения, соединенную с держателем, которая выполнена с возможностью перемещения во втором направлении под углом к направлению подачи, причем направление подачи, первое направление и второе направление находятся в одной плоскости;

резание пути от края указанной пробы горной породы до исходной точки путем подачи пробы на платформе перемещения для подачи;

последующее приведение в действие любой или обеих из указанных первой и второй платформ перемещения для линейной подачи пробы в направлении, не параллельном плоскости резания;

последующую остановку подачи пробы до тех пор, пока режущая проволока не вернется, по существу, к прямой ориентации;

повторение стадий приведения в действие и остановки несколько раз для вырезания замкнутой фигуры в пробе, причем замкнутая фигура определяет периметр образца; и

последующее отведение пробы горной породы по указанному пути.

14. Способ по п.13, в котором первая и вторая платформы перемещения ориентированы ортогонально относительно друг друга.

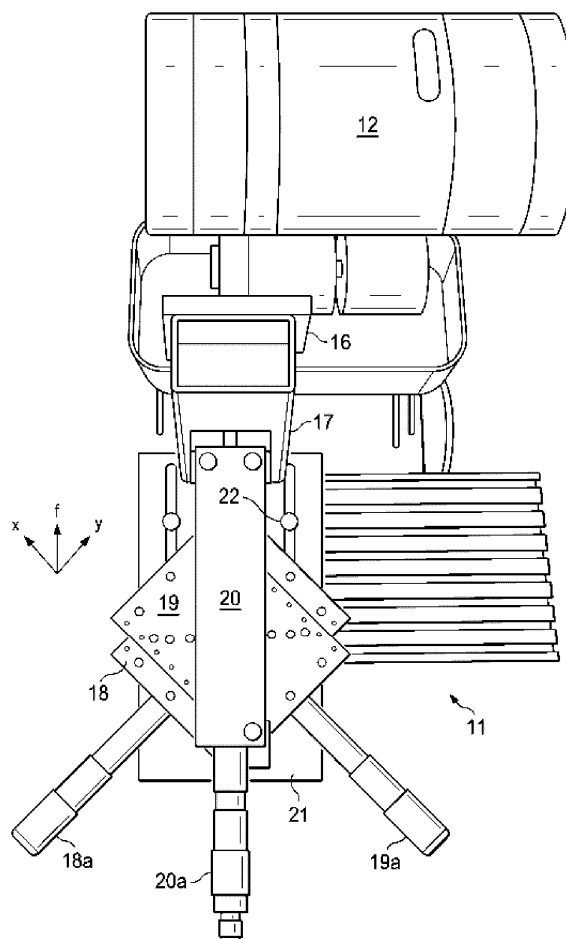
15. Способ по п.13, в котором

стадия резания включает подачу пробы от ее края в направлении, параллельном плоскости резания, для вырезания пути в пробе до исходной точки;

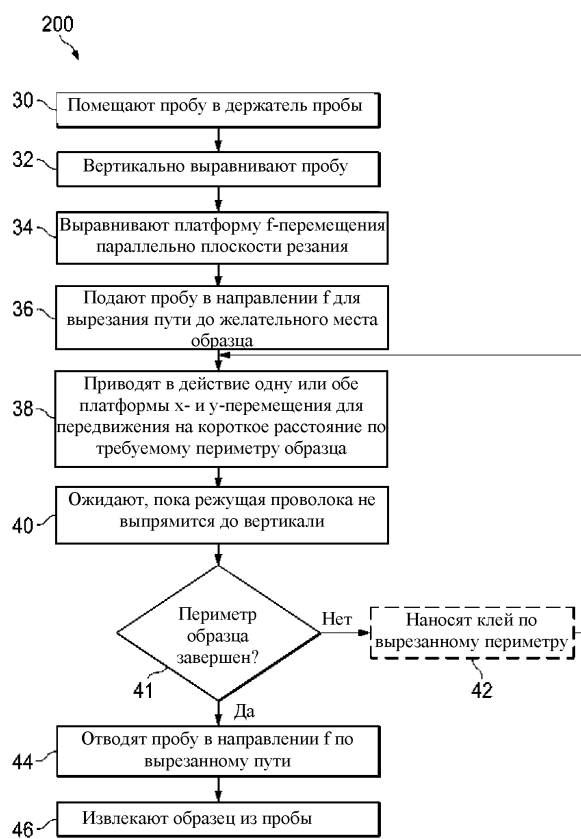
стадия отведения включает отведение пробы в направлении, параллельном плоскости резания, по указанному пути.

16. Способ по п.13, в котором каждая из стадий приведения в действие линейно подает пробу на расстояние менее приблизительно 100 мкм.

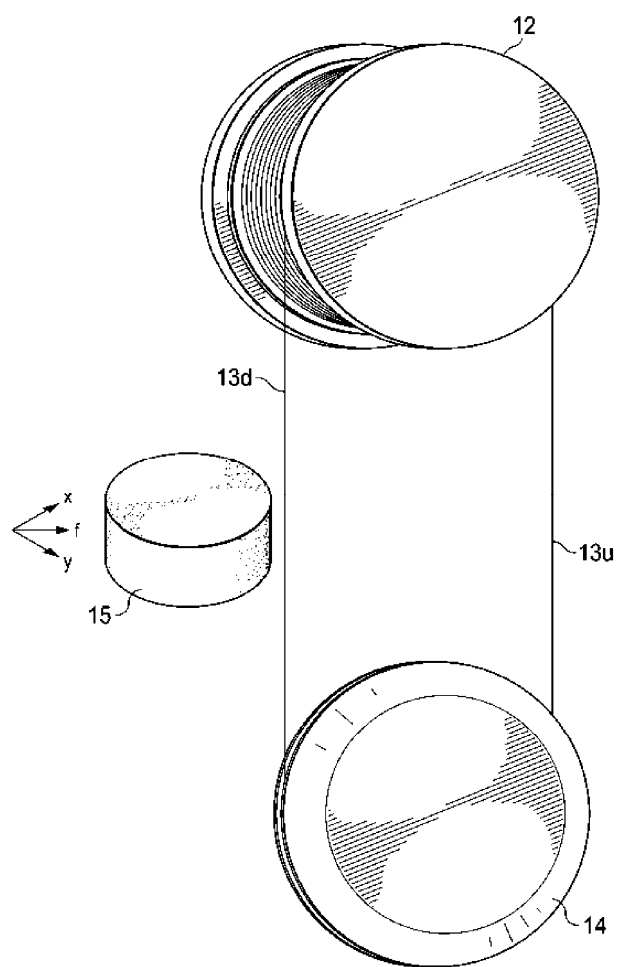
17. Способ по п.16, в котором каждую из стадий остановки выполняют на протяжении по меньшей



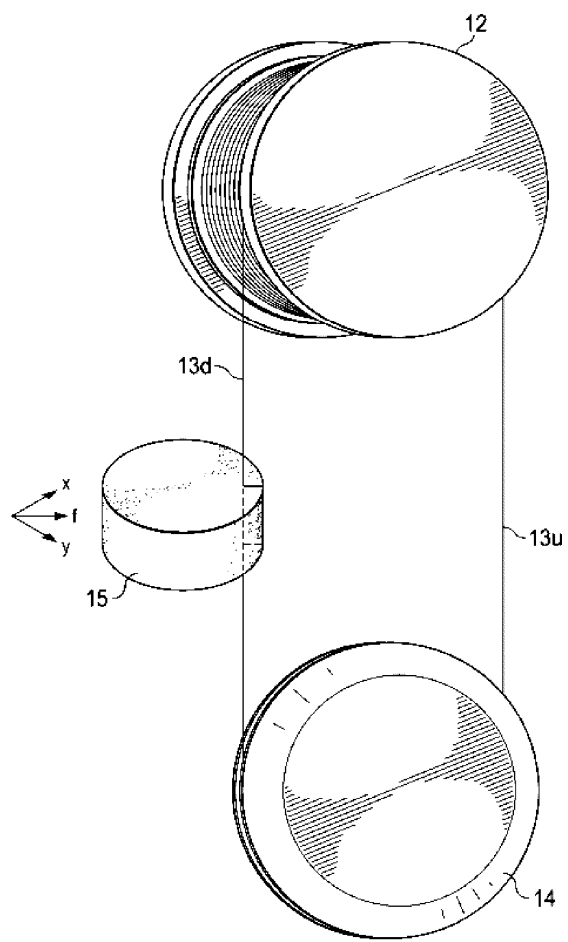
Фиг. 3



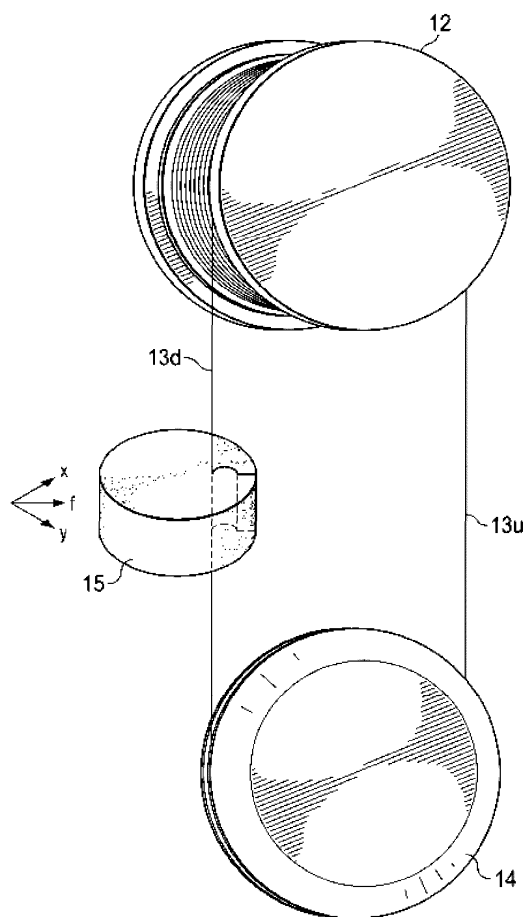
Фиг. 4



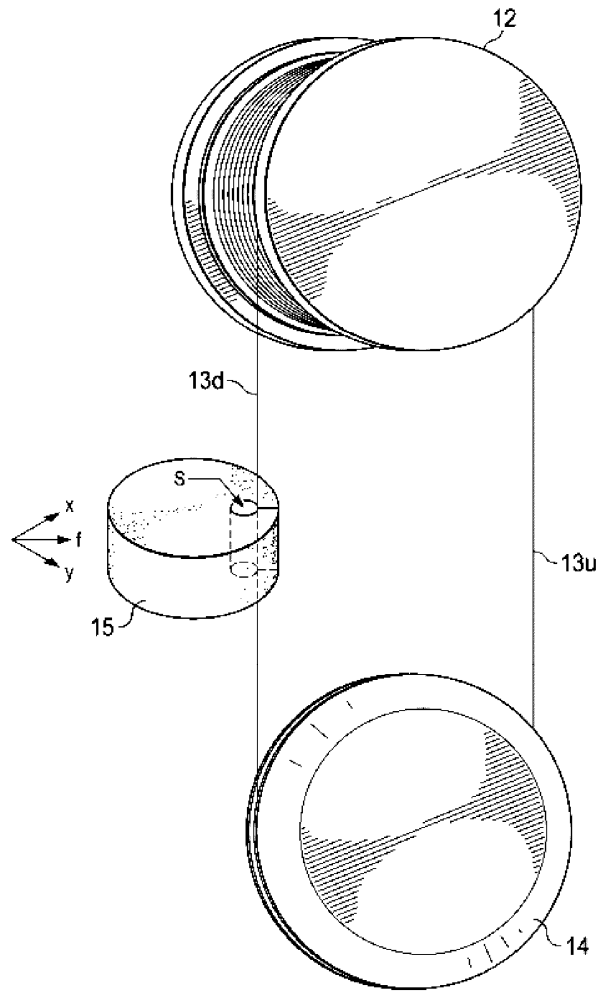
Фиг. 5а



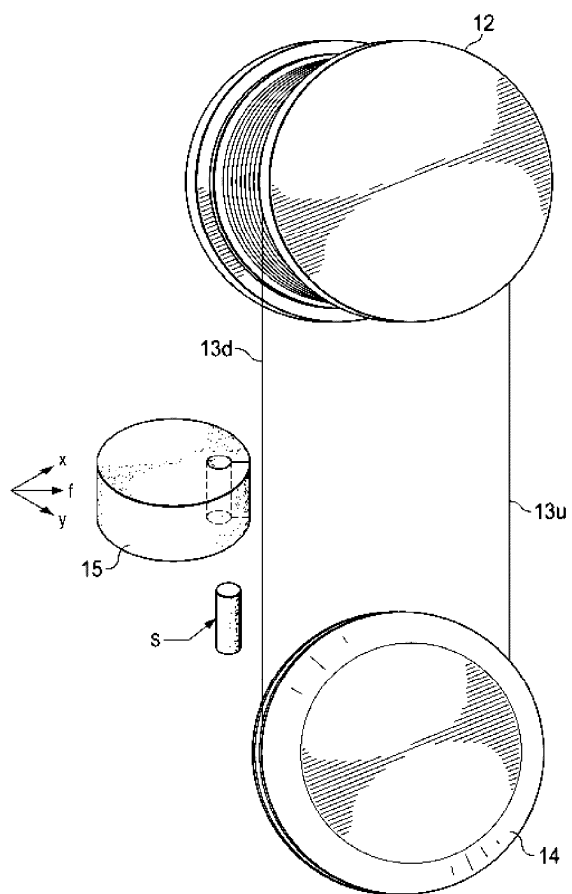
Фиг. 5b



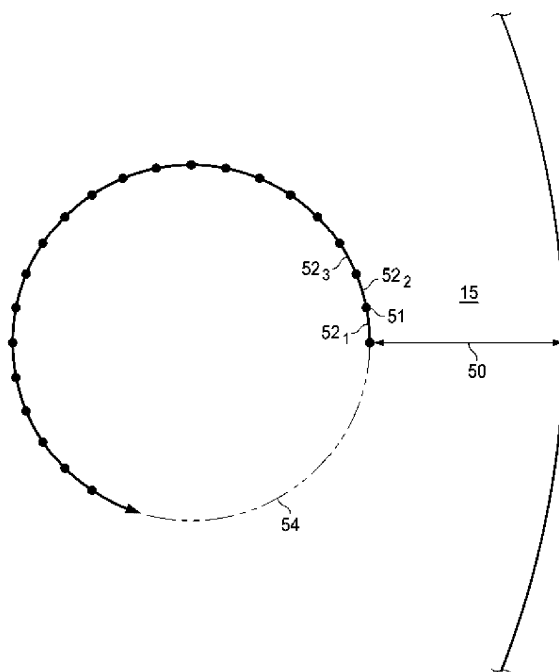
Фиг. 5с



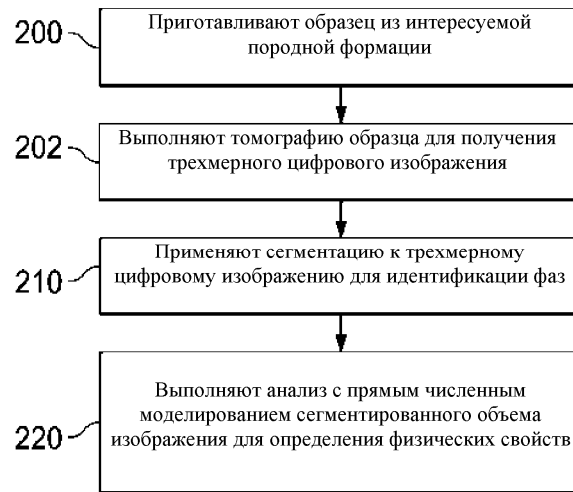
Фиг. 5d



Фиг. 5е



Фиг. 5f



Фиг. 6

