(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
08 марта 2018 (08.03.2018)

WIPO | PCT

(10) Номер международной публикации
WO 2018/044249 A1

(51) Международная патентная классификация:
B29C 64/135 (2017.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/UA2016/000104

(22) Дата международной подачи:
01 сентября 2016 (01.09.2016)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(72) Изобретатель; и

(71) Заявитель: ХАЛИП, Олег Юрьевич (KHALIP, Oleg Yurevich) [UA/UA]; Верхняя/Б.Хмельницкого, 9/26, 10, Запорожье, 69032, Zaporozhe (UA).

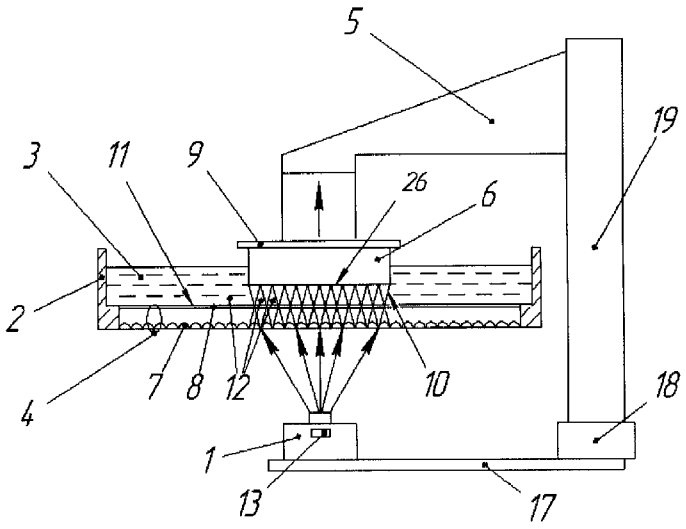
(74) Агент: ЧУДНОВСКАЯ, Ирина Исааковна (CHUDNOVSKAYA, Irina Isaakovna); ООО "ЗАПОРОЖСКОЕ ПАТЕНТНОЕ АГЕНТСТВО", просп. Соборный, 81, Запорожье, 69002, Zaporozhye (UA).

(81) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны)*: ARIPO (BW, GH,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR FORMING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT FROM A LIQUID POLYMER

(54) Название изобретения: УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЖИДКОГО ПОЛИМЕРА



Фиг. 1

(57) Abstract: The invention relates to the field of producing polymer objects and concerns a method and a device for forming a three-dimensional object from a liquid photopolymer. The present method includes exposing elementary cross sections to actinic radiation, moving an object along a build axis, and forming the object from a fluid zone of a border zone of a photopolymer. To provide fluidity of the border zone, the wave front of the radiation is converted so that the specific power of the radiation on the exposed regions has a gradient along the build axis, and the photopolymer in the fluid border zone is partially exposed. A device for forming a three-dimensional object comprises a source of actinic radiation, a mechanism for moving an object along a build axis, and a vessel for accommodating a photopolymer, which is provided with an optical interface window. The optical interface is in the form of a converter for converting the wave front of the actinic radiation, in the focal region of which an optically transparent element is disposed for contact with the photopolymer. The technical result is better quality finished objects, a faster production process and the possibility of using

WO 2018/044249 A1

[продолжение на следующей странице]

GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Декларации в соответствии с правилом 4.17:

— *касающаяся права заявителя падавать заявку на патент и получать его (правило 4.17 (ii))*

— *об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv))*

Опубликована:

— *с отчётом о международном поиске (статья 21.3)*

photopolymers with different polymerization types to form an object.

(57) Реферат: Изобретение относится к области изготовления полимерных изделий и касается способа и устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера. Способ включает в себя экспозицию элементарных сечений актиничным излучением, перемещение изделия вдоль оси построения и формирование изделия из подвижной зоны граничной зоны фотополимера. Для обеспечения подвижности граничной зоны преобразуют волновой фронт излучения таким образом, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, а фотополимер в подвижной граничной зоне экспонируется частично. Устройство для формирования трехмерного изделия содержит источник актиничного излучения, механизм перемещения изделия вдоль оси построения и емкость для размещения фотополимера, снабженную окном - оптическим интерфесом. Оптический интерфейс выполнен в виде преобразователя волнового фронта актиничного излучения, в области фокуса которого размещен оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером. Технический результат заключается в повышении качества изделий, ускорении процесса производства и обеспечении возможности использовать для формирования изделия фотополимеры с различными типами полимеризации.

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЖИДКОГО ПОЛИМЕРА

Область техники

Изобретение относится к области построения трехмерных изделий путем отверждения жидкого фотополимера с помощью актиничного излучения.

Предшествующий уровень техники

Известен способ формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера (см. п. США №7438846, з. № 20070063389 от 22.03.2007 г., опубл. 21.10.2008 г., МПК B28B 7/36, B29C 33/68, B29C 35/04), отверждаемого актиничным излучением, включающий осуществление проекции элементарного сечения актиничным излучением, экспозицию последовательности элементарных сечений, перемещение формируемого изделия вдоль оси построения, формирование изделия из жидкого фотополимера. При этом зона формирования со стороны проецирования ограничена окном – оптическим интерфейсом, а в качестве материала, граничащего с фотополимером, применена эластичная пленка.

В процессе экспозиции актиничным излучением отверждаемый фотополимер может приклеиваться к материалу оптического интерфейса из-за образования химических связей и/или прилипать к поверхности оптического интерфейса по типу присоски, поскольку сформированная поверхность прижимается к плоскости оптического интерфейса атмосферным давлением. Эти оба эффекта препятствуют плавному поступлению жидкого фотополимера в зону экспозиции сечения изделия и не позволяют непрерывно осуществлять процесс формирования изделия, поэтому в процессе изготовления изделия проводят экспозицию одного слоя сечения, затем прерывают экспозицию, перемещают формируемое изделие по вертикальной оси на

толщину слоя. В процессе перемещения происходит отрыв эластичной пленки от поверхности отвержденного изделия за счет упругих свойств пленки либо с помощью механизма натяжения, в процессе перемещения формируемого изделия жидкий фотополимер поступает в промежуток между изделием и поверхностью оптического интерфейса, затем вновь включают экспозицию сечения. Описанный цикл повторяют при формировании каждого слоя сечения.

Недостатками известного способа является то, что он не обеспечивает достаточно высокую скорость формирования изделия и, кроме того, не обеспечивает достаточно высокое качество формируемых изделий. Известный способ не позволяет осуществлять экспозицию и перемещение формируемого изделия непрерывно, формирование изделия производится послойно с паузами в экспозиции.

Известен способ формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера (см. публ. США №20130292862, з. № 201213600729 от 31.08.2012, опубл. 11.07.2013 г., МПК B29C 67/00), включающий экспозицию сечения, перемещение формируемого изделие по вертикальной оси, формирование изделия из жидкого фотополимера. В известном способе емкость с фотополимером, содержащая окно для экспозиции - оптический интерфейс, совершает боковое (скользящее) движение, затем в сдвинутом положении, когда фотополимер над оптическим интерфейсом отсутствует, производится насыщение материала оптического интерфейса ингибитором полимеризации (кислородом), подаваемым по внешнему трубопроводу. Благодаря этому граничный слой фотополимера, находящийся в контакте с поверхностью оптического интерфейса, в дальнейшем сохраняется в не отвержденном (жидком) состоянии.

Известный способ предотвращает приклеивание и прилипание формируемого изделия к поверхности оптического интерфейса, однако процесс связан с регулярными боковыми перемещениями емкости

фотополимера и механической очисткой поверхности оптического интерфейса, экспозиция осуществляется с перерывами для выполнения этих операций.

Недостатками известного способа является то, что он не обеспечивает достаточно высокую скорость формирования изделия и, кроме того, не обеспечивает достаточно высокое качество формируемых изделий. Известный способ не позволяет осуществлять экспозицию и перемещение формируемого изделия непрерывно, формирование изделия производится послойно с паузами в экспозиции.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому техническому результату к заявляемому техническому решению, является способ формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера (см. патент Канады № 2898106 (A1) от 21.08.2014 г., публикация WO2014126834 (A3), заявка № WO2014US15497 от 10.02.2014г., опубл. 13.11.2014 г., МПК G03F 7/00), отверждаемого актиничным излучением, включающий осуществление проекции элементарного сечения актиничным излучением, непрерывную экспозицию последовательности элементарных сечений, перемещение формируемого изделия вдоль оси построения, формирование изделия из подвижной граничной зоны фотополимера.

В известном способе подвижность граничной зоны фотополимера обеспечивают ингибированием граничной зоны. При этом от внешнего источника или из резервуара, конструктивно связанного с узлом оптического интерфейса, подают ингибитор в виде раствора или газа, например, кислород. Наличие ингибитора в граничном слое приводит к эффекту ингибирования полимеризации. При этом некоторый слой фотополимера вблизи поверхности оптического интерфейса остается неотвержденным и подвижным, что позволяет избежать как приклеивания с образованием химических связей, так и прилипания формируемого изделия по типу присоски и обеспечивает приток свежих

порций фотополимера в зону экспозиции при перемещении изделия. Непрерывное перемещение изделия вдоль оси построения позволяет получить более высокое разрешение вдоль оси построения, а также повысить скорость формирования изделия и, как следствие, более эффективно использовать оборудование.

Недостатками известного способа является то, что он не обеспечивает достаточно высокую скорость формирования изделия и, кроме того, не обеспечивает достаточно высокое качество формируемых изделий. Объясняется это тем, что в известном способе формирования изделий для предотвращения приклеивания/прилипания изделия и для ускорения построения изделия применяется предварительное насыщение граничного слоя оптического интерфейса ингибитором полимеризации, причем сам ингибитор уже содержится в материале оптического интерфейса или подается через его поверхность к фотополимеру в виде газа или раствора и меняет характеристики фотополимера по всей площади соприкосновения фотополимера с оптическим интерфейсом. Это негативно влияет на качество производимых изделий, ингибитор накапливается и ухудшает характеристики фотополимера, который остается в емкости после изготовления одного либо нескольких изделий. Объясняется это тем, что происходит постепенная диффузия ингибитора в объем фотополимера при реализации способа.

Кроме того, на качестве формируемого изделия сказывается то, что свойства фотополимера непосредственно в зоне формирования, то есть в подвижной, частично ингибированной зоне, изменены под действием ингибитора полимеризации, и в процессе формирования изделия одновременно реализуются два противоположных процесса: ингибирование и полимеризация, то есть потенциал скорости полимеризации не может быть реализован в полной мере.

Известный способ не позволяет без дополнительных приемов

применять для формирования изделий фотополимеры с различными типами полимеризации. Необходимо осуществлять индивидуальную разработку или подбор фотополимеризуемого материала с учетом возможного способа его ингибирования и применения соответствующих реагентов.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому техническому результату к заявляемому техническому решению, является устройство формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера (см. патент Канады № 2898106A1, публикация WO2014126834 (A3), заявка № WO2014US15497 от 10.02.2014г., опубл. 13.11.2014г.), содержащее, по крайней мере, один источник актиничного излучения, емкость для размещения фотополимера, снабженную окном - оптическим интерфейсом, и механизм перемещения изделия вдоль оси построения.

В известном устройстве элемент оптического интерфейса, имеющий контакт с фотополимером, выполнен в виде полупроницаемой мембраны. Устройство содержит внешний источник или резервуар, конструктивно связанный с узлом оптического интерфейса и предназначенный для подачи ингибитора.

В известном устройстве подвижность граничной зоны фотополимера обеспечивают ингибированием фотополимера, находящегося в этой зоне. При этом некоторый слой фотополимера остается неотвержденным и подвижным, что позволяет избежать как приклеивания с образованием химических связей, так и прилипания формируемого изделия по типу присоски и обеспечивает приток свежих порций фотополимера в зону экспозиции сечения при перемещении изделия.

Недостатками известного устройства является то, что оно не обеспечивает достаточно высокую скорость формирования изделия и, кроме того, не обеспечивает достаточно высокое качество

формируемых изделий. В известном устройстве формирования изделий ингибитор уже содержится в материале оптического интерфейса или устройство содержит узел для подачи ингибитора через его поверхность к фотополимеру в виде газа или раствора. Воздействие ингибитора меняет характеристики фотополимера по всей площади соприкосновения фотополимера с оптическим интерфейсом. Это негативно влияет на качество производимых изделий, ингибитор накапливается и ухудшает характеристики фотополимера, который остается в емкости после изготовления одного либо нескольких изделий. Объясняется это тем, что происходит постепенная диффузия ингибитора в объем фотополимера.

Кроме того, на качестве формируемого изделия сказывается то, что свойства фотополимера непосредственно в зоне формирования, то есть в подвижной, частично ингибированной зоне, изменены под действием ингибитора полимеризации, и в процессе формирования изделия одновременно реализуются два противоположных процесса: ингибирование и полимеризация, то есть потенциал скорости полимеризации не может быть реализован в полной мере.

Раскрытие изобретения

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, в котором путем проведения новых операций, новых условий их выполнения обеспечивают перераспределение энергии актиничного излучения в граничной зоне формирования изделия, что ведет к повышению скорости формирования изделий, повышению качества формируемых изделий и расширению функциональных возможностей способа, так как обеспечивается возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Также в основу изобретения поставлена задача

усовершенствования устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, в котором путем введения новых элементов, нового выполнения элементов и использования новых материалов для выполнения элементов обеспечивают перераспределение энергии актиничного излучения в граничной зоне формирования изделия, чем обеспечивается повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивается возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Поставленная задача решается тем, что в способе формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, отверждаемого актиничным излучением, включающем осуществление проекции элементарного сечения актиничным излучением, непрерывную экспозицию последовательности элементарных сечений, непрерывное однонаправленное перемещение формируемого изделия вдоль оси построения, формирование изделия из подвижной граничной зоны фотополимера, новым является то, что подвижность граничной зоны фотополимера обеспечивают тем, что осуществляют преобразование волнового фронта актиничного излучения таким образом, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, причем в подвижной граничной зоне фотополимер экспонируется частично.

Новым является также то, что при осуществлении проекции элементарного сечения актиничным излучением, элементарное сечение разделяют на фрагменты, параметрами экспозиции каждого из которых управляют отдельно, например, экспозицию фрагментов осуществляют поочередно и/или с разным уровнем удельной мощности.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для

формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, содержащем, по крайней мере, один источник актиничного излучения, емкость для размещения фотополимера, снабженную окном - оптическим интерфейсом, и механизм перемещения изделия вдоль оси построения, новым является, то что оптический интерфейс выполнен в виде, по крайней мере, одного преобразователя волнового фронта актиничного излучения, в области плоскости фокуса которого размещен оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером.

Новым является также то, что преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде матрицы микролинз, примыкающих боковыми сторонами друг к другу и размещенных в один слой на общем основании из оптически прозрачного материала.

Новым является также то, что преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде матрицы зонных пластинок Френеля, плоской фазовой или амплитудной голограммы, объемной фазовой пропускающей голограммы, матрицы голограммных линз, киноформа или матрицы микролинз Френеля.

Новым является также то, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины.

Новым является также то, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или пластины, которая является преобразователем волнового фронта.

Новым является также то, что устройство дополнительно содержит узел поддержания температуры оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером.

Новым является также то, что оптически прозрачный элемент,

предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен с возможностью выполнения колебательных движений.

Новым является также то, что устройство содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему.

Новым является также то, что устройство содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему, причем, по крайней мере, один преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде пропускающей либо отражательной голограммы.

Новым является также то, что устройство содержит, по крайней мере, два источника актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса.

Причинно-следственная связь между совокупностью существенных признаков способа и достигаемым техническим результатом состоит в следующем.

То, что в способе формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера осуществляют преобразование волнового фронта актиничного излучения таким образом, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, причем в подвижной граничной зоне фотополимер экспонируется частично, в совокупности с известными признаками способа обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей способа, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. При реализации заявляемого способа происходит непрерывное перемещение изделия вдоль оси построения, что позволяет получить максимально высокое разрешение печати и максимальную скорость формирования изделия. В результате достижимы разрешения вдоль оси построения около 0,1 микрона и скорости от 100 мкм/сек до 10000 мкм/сек и более. При этом стабилизируется усилие, необходимое для перемещения формируемого изделия, что позволяет осуществлять перемещение, избегая рывков, как это имеет место при тактовом или возвратно-поступательном движении, что, в свою очередь, во многих случаях позволяет уменьшить количество поддерживающих элементов, формируемых одновременно с изделием, и, соответственно, экономить расходные материалы.

То, что в заявляемом способе предотвращение приклеивания/прилипания формируемого изделия обеспечивается распределением энергии актиничного излучения в объеме граничного слоя области формирования изделия таким образом, что это обеспечивает частичную подвижность граничной зоны, исключает необходимость химического воздействия на фотополимер, благодаря чему свойства фотополимера остаются неизменными.

Поскольку химической модификации фотополимера не производится, в процессе могут быть использованы фотополимерные системы с любым типом полимеризации, имеющие подходящую фотоактивность.

Благодаря тому, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, причем в подвижной граничной зоне фотополимер экспонируется частично, существенная часть фотополимера в граничной области остается неотвержденной. Наличие подвижного фотополимера в граничной области обеспечивает его быстрый непрерывный приток при непрерывном перемещении изделия вдоль оси. При этом

обеспечивается полимеризация и отверждение фотополимера в пределах частей объема фотополимера, максимальный объем которых сосредоточен на некотором заранее определенном расстоянии от поверхности оптического интерфейса. Большее количество фотополимера вблизи поверхности построения сохраняется в неотвержденном состоянии без применения каких либо ингибиторов и вспомогательных реагентов. Подвижность граничного с плоскостью оптического интерфейса слоя обеспечивает облегченное преодоление прилипания формируемого изделия к поверхности оптического интерфейса под действием атмосферного давления, свободный приток свежих порций фотополимера в область экспозиции и возможность быстрого непрерывного формирования качественного изделия.

То, что в способе формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера при осуществлении проекции элементарного сечения актиничным излучением элементарное сечение разделяют на фрагменты, параметрами экспозиции каждого из которых управляют отдельно, например, экспозицию фрагментов осуществляют поочередно и/или с разным уровнем удельной мощности, также обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей способа, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Индивидуальное управление параметрами экспозиции каждого фрагмента, например, выборочная либо поочередная экспозиция фрагментов с различным уровнем удельной мощности позволяет достигнуть опережающего отверждения отдельных фрагментов формируемого изделия, имеющих контакт с поверхностью оптического интерфейса, и значительно уменьшить моментальную силу, необходимую для преодоления прилипания

фрагментов формируемого изделия к поверхности оптического интерфейса в процессе непрерывного перемещения изделия вдоль оси построения за счет существенного уменьшения совокупной площади фрагментов формируемого изделия, имеющих контакт с поверхностью оптического интерфейса в каждый момент времени.

Причинно-следственная связь между совокупностью существенных признаков устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера и достигаемым техническим результатом состоит в следующем.

То, что в устройстве для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера оптический интерфейс выполнен в виде, по крайней мере, одного преобразователя волнового фронта актиничного излучения, в области плоскости фокуса которого размещен оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, в совокупности с известными признаками устройства обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Такое выполнение оптического интерфейса позволяет обеспечить заданное пространственное распределение энергии актиничного излучения в объеме зоны формирования изделия и сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемым. Это обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в области построения и его быстрый непрерывный приток в область экспозиции при непрерывном перемещении изделия вдоль оси построения.

Причинно-следственная связь между совокупностью развивающих существенных признаков устройства для формирования

трехмерного изделия из жидкого фотополимера и достигаемым техническим результатом состоит в следующем.

То, что в устройстве для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде матрицы микролинз, примыкающих боковыми сторонами друг к другу и размещенных в один слой на общем основании из оптически прозрачного материала в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Выполнение преобразователя волнового фронта в виде матрицы микролинз позволяет достичь заданного пространственного распределения энергии актиничного излучения в объеме зоны формирования изделия и сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемым, это обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в объеме построения и его быстрый непрерывный приток в область экспозиции при непрерывном перемещении изделия вдоль оси построения.

То, что преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде матрицы зонных пластинок Френеля, плоской фазовой или амплитудной голограммы, объемной фазовой пропускающей голограммы, матрицы голограммных линз, киноформа или матрицы микролинз Френеля в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность

скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Выполнение преобразователя волнового фронта в виде матрицы зонных пластинок Френеля, плоской фазовой или амплитудной голограммы, объемной фазовой пропускающей голограммы, матрицы голограммных линз, киноформа или матрицы микролинз Френеля, позволяет достичь заданного пространственного распределения энергии актиничного излучения в объеме зоны формирования изделия и сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемым, что обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в области построения. Также в случае, когда источник актиничного излучения является источником когерентного излучения, появляется возможность формирования в области построения изделия голограммного поля в виде пространственной интерференционной картины с заданным пространственным распределением энергии актиничного излучения, что позволяет достичь заданного пространственного распределения энергии актиничного излучения в объеме зоны формирования изделия и сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемой, что обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в области построения.

То, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа

полимеризации.

Объясняется это следующим. Выполнение оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины позволяет удерживать фотополимер в области фокуса преобразователя волнового фронта.

То, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины, которая является преобразователем волнового фронта, в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Наличие оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, выполненного в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины, которая является преобразователем волнового фронта актиничного излучения, позволяет удерживать фотополимер в области фокуса преобразователя волнового фронта и оптимизировать процесс теплообмена с окружающей средой.

То, что устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера дополнительно содержит узел поддержания температуры оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением

любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Наличие узла поддержания температуры позволят управлять вязкостью фотополимера, которая зависит от температуры, и отводить избыточное тепло, выделяющееся при его полимеризации.

То, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, может быть выполнен с возможностью выполнения колебательных движений в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Выполнение оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, с возможностью выполнения колебательных движений позволяет управлять процессом отрыва фрагментов формируемого изделия от поверхности прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, интенсифицировать процесс переноса свежих порций фотополимера в область формирования изделия. Колебания мембраны перекачивают фотополимер вдоль поверхности оптического интерфейса, что позволяет повысить скорость формирования изделия благодаря более интенсивному притоку фотополимера в область формирования изделия. Повышается скорость перемещения изделия вдоль оси построения.

То, что устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые

образуют оптическую систему, в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Наличие оптической системы из двух или нескольких преобразователей волнового фронта позволяет эффективно использовать транспарантные пространственные модуляторы актиничного излучения, например, плоские жидкокристаллические матрицы, и обеспечить фокусировку экспонируемого сечения изделия сквозь узел поддержания температуры.

То, что устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему, причем, по крайней мере, один преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде пропускающей либо отражательной голограммы, в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. Наличие оптической системы из двух или нескольких преобразователей волнового фронта в случае, когда, по крайней мере, один преобразователь волнового фронта

актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде пропускающей либо отражательной голограммы, позволяет эффективно использовать транспарантные пространственные модуляторы актиничного излучения, например, плоские жидкокристаллические матрицы, и обеспечить фокусировку экспонируемого сечения изделия сквозь узел поддержания температуры. В случае, когда источник актиничного излучения является источником когерентного излучения, появляется возможность формирования в области построения изделия голограммного поля в виде пространственной интерференционной картины с заданным пространственным распределением энергии актиничного излучения, что позволят достичь заданного пространственного распределения энергии актиничного излучения в объеме зоны формирования изделия и сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемой. Это обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в области построения.

То, что устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера содержит, по крайней мере, два источника актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса, в совокупности с известными признаками обеспечивает повышение скорости формирования изделий, повышение качества формируемых изделий и расширение функциональных возможностей устройства, так как обеспечивает возможность скоростного непрерывного формирования изделий с применением любых фотополимерных систем, вне зависимости от типа полимеризации.

Объясняется это следующим. При использовании двух и более источников актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса, в случае, когда источники актиничного излучения работают на

одинаковой длине волны и каждый из источников обеспечивает экспозицию своей части площади сечения, оказывается возможным экспозиция сечений изделий большей площади с сохранением разрешающей способности по осям плоскости построения.

В случае, когда хотя бы один из источников актиничного излучения является источником когерентного излучения, появляется возможность формирования в области построения изделия голограммного поля в виде пространственной интерференционной картины с заданным пространственным распределением энергии актиничного излучения, что позволяет сохранить часть фотополимера в объеме зоны формирования неэкспонируемой, что обеспечивает постоянное наличие жидкого фотополимера в области построения.

Краткое описание чертежей

Для пояснения сущности изобретения и пояснения достижения технического результата признаками заявляемого способа и устройства для его реализации приведены следующие фигуры.

На фиг. 1 показана схема устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера.

На фиг. 2 показано распределение плотности энергии, реализуемой элементарным фокусирующим элементом преобразователя волнового фронта (например, микролинзой).

На фиг. 3 показано, что при использовании преобразователя волнового фронта актиничного излучения большая часть объема фотополимера вблизи поверхности оптического интерфейса оказывается практически неэкспонируемой.

На фиг. 4 показано, что в результате преобразования волнового фронта актиничного излучения конфигурация отвержденной части изделия в области построения имеет регулярную рельефную структуру.

На фиг. 5 показано средство реализации преобразования волнового фронта – массив полусферических микролинз квадратной

формы.

На фиг. 6 показано средство реализации преобразования волнового фронта – голограммный оптический элемент, типа киноформ, представляющий собой массив микроскопических линз Френеля квадратной формы.

На фиг. 7 показан вариант исполнения устройства, когда поверхность оптического интерфейса изготовлена в виде оптически прозрачной эластичной или слаборастяжимой мембраны из пленки, расположенной поверх плоского элемента преобразования волнового фронта актиничного излучения, и когда конструкция дополнительно содержит резервуар, заполненный жидким теплоносителем и совмещённый с оптическим интерфейсом для поддержания заданной температуры поверхности оптического интерфейса.

На фиг. 8 показан пример реализации устройства, где один элемент преобразования волнового фронта (массив микролинз либо голограммный элемент) используется для предварительной фокусировки элементов проекции изделия, которая формируется с помощью транспарантной ЖК матрицы, а второй голограммный элемент используется для преобразования волнового фронта в плоскости построения изделия.

На фиг. 9 показано, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, может быть выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или пластины, которая также является преобразователем волнового фронта.

На фиг. 10 показана пластина оптического интерфейса, имеющего композитную структуру.

На фиг. 11 показано, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, может быть выполнен с возможностью выполнения вынужденных колебательных движений.

На фиг. 12 показан вариант реализации устройства для

формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, в котором компоновка устройства выполнена так, что движение построения направленно вниз вдоль вертикальной оси, и формируемое изделие погружается в емкость с фотополимером либо в емкость с жидкостью, на поверхности которой находится фотополимер.

На фиг. 13 показано устройство для реализации способа по данному изобретению, выполненное в виде сменного узла (кассеты), содержащего необходимые для реализации способа компоненты и реагенты.

На фиг. 14 показано устройство для реализации способа по данному изобретению, выполненное в виде полного программно-технического комплекса.

На фиг. 15 показан вариант реализации устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, содержащий два источника актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса.

На фиг. 16 показано устройство для реализации способа по данному изобретению, в котором оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, и преобразователь волнового фронта образуют герметичное соединение таким образом, что полость между ними сообщается с отдельным резервуаром посредством трубопровода, для циркуляции и/или подачи заданной среды и регулирования ее потока применяются клапаны, краны, насосы различных типов.

На фиг. 17 показана микрофотография массива микролинз из ПММА шестиугольной формы.

На фиг. 18 показана микрофотография массива голограммных микролинз квадратной формы.

На фиг. 19 показана микрофотография массива голограммных

микролинз шестиугольной формы.

На фиг. 20 показан результат практической реализации заявляемого способа, реализуемого заявляемым устройством, по примеру №1.

На фиг. 21 – то же по примеру №2.

На фиг. 22 – то же по примеру №3.

На фиг. 23 – то же по примеру №4.

Настоящее изобретение описано со ссылками на прилагаемые чертежи, в приведенном ниже не ограничивающем описании. Одинаковые номера ссылаются на одинаковые элементы по всему описанию. На чертежах толщина некоторых линий, слоев, компонентов, элементов или признаков может быть преувеличена для ясности. Ломаные линии иллюстрируют дополнительные функции, операции или процессы.

Используемый в данном описании термин «и/или» включает все возможные комбинации, термин «или» означает «одно из».

Если не указано иное, все используемые технические и научные термины имеют то же значение, которое обычно понимается обычным специалистом в области техники, к которой принадлежит. Общеизвестные функции или конструкции могут не описываться подробно.

Следует понимать, что когда в качестве примера перечисляются варианты технологических приемов, технических решений, используемых материалов, режимов функционирования, приводимый перечень не является ограничивающим, если не указанно иное.

Термин – «оптически прозрачный» подразумевает прозрачность для актиничного излучения в области спектра, имеющей функциональное значение для процесса отверждения фотоотверждаемой системы.

Следует понимать, что, когда элемент упоминается как

«расположенный», «подключенный», «связанный», «имеющий контакт» и т.д., с другим элементом, связь может быть осуществлена посредством элементов, не участвующих в описании, термин «непосредственно» подразумевает связь без использования промежуточных элементов.

Пространственно относительные термины «вверх», «вниз», «вертикальный», «горизонтальный» и т.п. используются только для описания, если специально не указано иное.

Последовательность операций (или этапов) не ограничивается порядком, указанным в формуле изобретения или последовательностью описания, если не указано иное.

Способ и устройство, описанные в данном изобретении, предусматривают использование жидких фотополимеров (жидких фотоотверждаемых систем), которые объединены общим свойством - их агрегатное состояние изменяется под действием актиничного излучения: из жидкой в твердую форму. Общее название «фотополимеры» применено для краткости. Выбор жидкой фотоотверждаемой системы осуществляется исходя из требований к свойствам изделий и области их применения.

Перечень жидких фотоотверждаемых систем, которые могут использоваться в способе и устройстве по настоящему изобретению включает, но не только,:

- системы, отверждаемые по методу радикальной полимеризации, например, на основе акрилов, акриламидов, различных функционализированных олигомеров и др, некоторые примеры жидких систем, мономеров и инициаторов отверждения описаны в патентах США 8232043, 8119214, 7935476, 7767728, 7649029, WO 2012129968Al, JP 2012210408 A, CN 10271 5751A;

- композиции, содержащие мономеры, подходящие для кислотного отверждения, такие, например, как эпоксидные, виниловые,

на основе простых эфиров, и т.д. (см., например, патенты США 7824839, 7550246, 7534844, 5374500, 6692891);

- фотоотверждаемые силиконовые смолы, например, для изделий медицинского назначения;

- фотоотверждаемые полиуретаны, позволяющие, например, получать прочные изделия с различной степенью эластичности;

- фотоотверждаемые смолы для литья по выплавляемым/выжигаемым моделям;

- фотоотверждаемые гидрогели, такие как полиэтиленгликоли и желатины;

- полимеризующиеся жидкости, несущие живые клетки, например, но не только, образующие гидрогель, описанные в патентах США 7651683, 7651682, 7556490, 6602975, 5836313 и т.д.;

- фотоотверждаемые золь-гель композиции, способные, например, после формирования изделия методом трехмерной печати, в результате последующего обжига образовывать содержащие углерод стеклокерамические и керамические изделия, некоторые описаны в патентах США 4765818, 7709597, 7108947, 8242299, 7368514, 8147918;

- биоразлагаемые смолы для имплантируемых устройства, применяемых, например, для доставки лекарственных средств или для биоразлагаемых стентов, описанные, например, в патентах США 6932930, 7919162.

Фотоотверждаемые системы могут содержать дополнительные ингредиенты, например, в виде микрочастиц различной размерности, наполнители, красители, упрочняющие добавки, углеродные микроволокна, ферромагнетики, парамагнетики, металлы, люминофоры, лекарственные препараты, микробные культуры, живые клетки, это могут быть различные органические наполнители, микрокапсулы и наночастицы, или их комбинации.

Заявляемый способ формирования трехмерного изделия из

жидкого фотополимера реализуется устройством, которое содержит, по крайней мере, один источник 1 актиничного излучения, емкость 2 для размещения фотополимера 3 с прозрачным окном - оптическим интерфейсом 4, и механизм 5 перемещения формируемого изделия 6. Оптический интерфейс 4 выполнен в виде, по крайней мере, одного преобразователя 7 волнового фронта, в области плоскости фокуса которого размещен оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3.

Формируемое изделие 6 закреплено на подвижной платформе-носителе 9. Поверхность изделия 6, обращенная к оптическому интерфейсу 4, является поверхностью 10 построения и поверхностью вовлечения фотополимера в область экспозиции (см. фиг. 1).

Оптический интерфейс 4 - окно в емкости 2 с фотополимером 3, предназначенное для экспозиции фотополимера 3, может быть выполнено в виде унитарного элемента с композитной структурой, либо может иметь составную конструкцию из нескольких сборочных единиц, включая элементы крепления, уплотнения и др. (на фиг. не показаны). Оптический интерфейс 4 закреплен на емкости 2 для фотополимера 3 (крепления на фиг. не показаны). Поверхность оптического интерфейса 4, обращенная к фотополимеру 3, образует поверхность 11 оптического интерфейса 4 или, что то же самое, плоскость оптического интерфейса 4 (см. фиг. 3).

Область объема фотополимера 3 между поверхностью 10 построения и поверхностью 11 оптического интерфейса 4 - подвижная граничная область 12 или, что то же самое, область построения, или что то же самое подвижная граничная зона (см. фиг. 2).

Варианты конструкции оптического интерфейса подробнее будут рассмотрены ниже

Источник 1 актиничного излучения, в предпочтительном

варианте, представляет собой электрический источник излучения, в частности, источник ультрафиолетового излучения. Может быть использован любой подходящий источник актиничного излучения, например, лампа накаливания, ртутная лампа, люминесцентная лампа, лазер, светодиод и т.д., в том числе, сборки перечисленных приборов.

Источник 1 актиничного излучения, предпочтительно, должен содержать элемент 13 для пространственной модуляции актиничного излучения, например, жидкокристаллический дисплей (LCD), пространственный модулятор в виде матрицы микрозеркал (DMD), или другую подходящую систему, известную специалистам в данной области техники. Управление пространственным модулятором осуществляется контроллером, например, это может быть компьютер общего применения, оснащенный соответствующим программным обеспечением (см., например, патенты США 6312134; 6248509; 6238852; и 5691541).

Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера может содержать один, два или более источников 1 актиничного излучения. На фиг. 15 показан не исключающий вариант исполнения устройства для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, содержащий два источника 1 актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса 4.

Емкость 2 для размещения фотополимера 3 может иметь определенные общей конструкцией габариты, дополнительные элементы позиционирования и крепления (на фиг. не показаны) и др. Емкость 2 для размещения фотополимера 3 может быть снабжена датчиками 14 уровня фотополимера 3, датчиками 15 температуры, узлом 16 пополнения уровня фотополимера 3 и др. (см. фиг. 13). Могут быть использованы любые подходящие датчики, исходя из их

конструктивного исполнения и допустимых условий эксплуатации. Емкость 2 для размещения фотополимера 3 может быть изготовлена из любого подходящего материала, способного сохранять стабильные размеры и выдерживать контакт с фотополимерной композицией, например, это могут быть металлы и металлические сплавы, такие как алюминий или нержавеющая сталь, композитные материалы, например, на основе углеродного волокна, пластмассы, например, полиэтилен, полипропилен или фторопласт и др., или композиции всего перечисленного.

Механизм 5 перемещения изделия 6, предпочтительно, может представлять собой систему из размещенных на общей станине 17 шагового двигателя 18 с винтовым редуктором 19, связанного с подвижной платформой-носителем 9 формируемого изделия 6 (см. фиг. 1). Возможны альтернативные варианты реализации механизма перемещения, например, в виде линейного электрического двигателя, гидравлической системы, привода в виде катушки с редуктором и другие известные специалистам в данной области техники (на фиг. не показаны).

Преобразователь 7 волнового фронта может быть выполнен в виде матрицы 20 микролинз, примыкающих боковыми сторонами и размещенных в один слой на общем основании 21 из оптически прозрачного материала. Одна микролинза представляет собой элементарный фокусирующий элемент 22 преобразователя 7 волнового фронта. Не исключающий пример массива (матрицы) 20 микролинз представлен на фиг. 5.

Преобразователь 7 волнового фронта также может быть выполнен в виде голограммного оптического элемента 23, который представляет собой, например, матрицу зонных пластинок Френеля, плоскую фазовую или амплитудную голограмму, объемную фазовую пропускающую голограмму, матрицу голограммных линз, киноформ

или матрицы микролинз Френеля. Для изготовления голограммного оптического элемента 23 могут быть применены любые подходящие технологии, например, запись голограмм в оптических средах, таких, например, как фотополимерные среды для записи голограмм, или среды на основе бихромированного желатина, тиснение термопластичных полимеров, напыление в вакууме, травление, построение с помощью сканирования электронным пучком и другие, известные специалистам в данной области техники. Одна голограммная микролинза, микролинза Френеля и/или любой другой элементарный элемент преобразователя волнового фронта представляет собой элементарный фокусирующий элемент 22 преобразователя 7 волнового фронта. Не исключающий пример массива голограммных микролинз Френеля на носителе 24 в виде пластины представлен на фиг. 6.

Элементарные фокусирующие элементы 22 преобразователя 7 волнового фронта, такие как микролинзы, микролинзы Френеля, голограммные линзы, могут иметь различную форму, например, но не только, форму прямоугольников, треугольников, шестигранников и размеры сторон от 1 до 10 мкм или от 10 до 100 мкм.

Плоскость, в которой объединяются растры 25 элементарных фокусирующих элементов 22, далее мы будем называть базовой плоскостью 26 построения изделия 6 (см. фиг. 3).

Преобразователь 7 волнового фронта может быть выполнен на носителе 24 в виде пленки толщиной от 5 до 500 мкм, либо в виде пластины толщиной, например, от 0,5 до 20 мм, из любого подходящего материала, такого, например, как минеральное стекло, акриловое стекло, поликарбонат, лавсан, полиэтилентерефталат и другие материалы, известные специалисту в данной области техники.

Устройство для формирования трехмерного изделия 6 из жидкого фотополимера 3 может содержать, по крайней мере, два

преобразователя 7 волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему. При этом, если два преобразователя 7 волнового фронта актиничного излучения образуют оптическую систему, то, по крайней мере, один преобразователь 7 волнового фронта актиничного излучения может быть выполнен в виде голограммного оптического элемента 23, пропускающей либо отражательной голограммы.

На фиг. 8 представлен не исключающий пример реализации устройства, где один элемент преобразования 7 волнового фронта, представляющий собой массив 20 микролинз, используется для предварительной фокусировки проекции изделия 6, которая формируется с помощью транспарантной ЖК-матрицы 27, а второй голограммный оптический элемент 23 используется для преобразования волнового фронта в области построения 12 изделия 6 в соответствии с принципом, описанным выше.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен в виде оптически прозрачной мембраны из пленки толщиной от 5 до 40 мкм, или от 40 до 100 мкм, расположенной параллельно с преобразователем 7 волнового фронта актиничного излучения, как это показано на фиг. 1. Расстояние между оптически прозрачным элементом 8, предназначенным для контакта с фотополимером 3, и преобразователем 7 волнового фронта может составлять от 0,1 до 1 мкм или от 1 до 10 мкм или более. Натяжение мембраны может быть обеспечено конструкцией узла крепления, например, формой фланцев зажимного элемента (на фиг. не показано). При монтаже могут быть использованы приспособления для предварительного натяжения мембраны (на фиг. не показано). Пленка мембраны может быть изготовлена из любого подходящего полимера, такого как лавсан, полипропилен, полиэтилен или другие полиолефины,

например, полиметилпентен (TPX™), коммерчески доступный от Mitsui Chemicals, Inc, фторполимер, например, PTFE (Teflon®), коммерчески доступный от DuPont, силиконовая резина и др.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен в виде пластины толщиной от 0,1 мм до 10 мм, расположенной параллельно с преобразователем 7 волнового фронта актиничного излучения. Пластина может быть выполнена из любого подходящего материала, такого как стекло, кварцевое стекло, акриловое стекло. Внешняя поверхность пластины может иметь покрытие из фторполимера, например, TEFLON AF®, коммерчески доступного от DuPont, кремнийорганическое покрытие, например, композиции на основе ПДМС, коммерчески доступные от Dow Corning, и др.

В заявляемом изобретении оптически прозрачный элемент 8 может совмещать выполнение других полезных функций с функцией преобразования волнового фронта актиничного излучения, а элементы макрорельефа и микрорельефа, внутренние микрополости, макрополости, нано- и микровключения, микропоры, а также участки с различными коэффициентами рефракции, различной оптической плотностью и коэффициентами пропускания актиничного излучения могут служить для реализации данной функции. Например, оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может одновременно представлять собой преобразователь 7 волнового фронта. На фиг. 9 показано, что оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или пластины, которая также является преобразователем 7 волнового фронта. Не исключающий пример конструкции оптически прозрачного элемента 8, совмещенного с преобразователем 7 волнового фронта в виде композитной структуры, представлен на

фиг. 10. Пластина оптического интерфейса 4 имеет композитную структуру, включающую: защитный слой 28, слой 29 голограммы, пленку или пластину несущего слоя 30. В качестве материала для несущего слоя 30 могут быть использованы, например кварцевое стекло или акриловое стекло, полиэтилентерефталат, и др. Защитные слои 28 могут быть выполнены, например, из фторполимера, например, TEFLON AF®, коммерчески доступного от DuPont, или композиции на основе ПДМС от Dow Corning, которые могут быть нанесены любым из известных способов, например, путем нанесения жидкого мономера с его последующей полимеризацией, нанесения раствора полимера с его последующей сушкой и/или оксидов металлов, нанесенных методом ионно-плазменного напыления, например, могут использоваться оксид цинка, оксид алюминия и др.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен с возможностью выполнения колебательных движений. Известно, что натянутая мембрана способна осуществлять гармонические колебания подобно натянутой струне. В данном случае имеется в виду такая конструкция, когда какое-либо воздействие на поверхность мембраны способно вызвать ее затухающие колебания. Возможность осуществлять колебания также означает, что имеется некоторое свободное пространство, в пределах которого колебания могут быть осуществлены, например, пространство для колебаний может составлять от 0,1 до 1 мкм или от 1 до 10 мкм и более вдоль вертикальной оси к поверхности оптического интерфейса 4. Натяжение мембраны может быть обеспечено конструкцией узла крепления, например, формой фланцев зажимного элемента (на фиг. не показано). Также при монтаже устройства могут быть использованы приспособления для предварительного натяжения мембраны (на фиг. не показано).

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен с возможностью выполнения вынужденных колебательных движений, которые могут быть вызваны передачей механической энергии от одного или нескольких источников 31 колебаний, например, механических, акустических и/или ультразвуковых колебаний (см. фиг. 11). Колебания в пластине или колебания мембраны оптически прозрачного элемента 8 могут распространяться в виде продольных и/или поперечных волн. Характер таких колебаний определяется частотой, свойствами материала и колебательной системы в целом. Источник 31 колебаний может представлять собой электромагнитный или пьезоэлектрический преобразователь подходящих габаритов и мощности, получающих электрический сигнал от генератора 32 сигналов.

В заявляемом устройстве оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может содержать на своей поверхности или в объеме упорядоченную либо хаотичную нано-, микроструктуру в виде полостей, углублений или пор (на фиг. не показано).

Такая структура может быть сформирована, например, травлением, тиснением, гравировкой, в том числе лазерной, или являться результатом технологического процесса изготовления, например процесса порообразования.

Для предотвращения прилипания фрагментов формируемого изделия 6 к материалу оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, могут использоваться жидкости, которые не смачивают отвержденный фотополимер 3, но смачивают материал оптического интерфейса 4. Например, оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен в виде

микропористой пленки (пластинки) с текстурированной гидрофильной поверхностью, имеющей микроразмерные (капиллярные) бороздки (на фиг. не показано), содержащие жидкость, например, но не только, водную жидкость, может также представлять собой преобразователь 7 волнового фронта актиничного излучения.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать между собой герметичное соединение, например, могут использоваться герметики или герметичные уплотнения, расположенные по периметру этих элементов (на фиг. не показано).

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать негерметичное соединение, например, может использоваться газопроницаемый сепаратор, установленный в качестве прокладки между этими элементами вдоль их периметра (на фиг. не показано).

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать герметичное соединение таким образом, чтобы полость между ними сообщалась с отдельным резервуаром 33. Такое соединение может осуществляться с помощью трубопровода с использованием клапанов 34 и насоса 35. Не исключающий пример такой реализации устройства представлен на фиг. 16.

Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера может дополнительно содержать узел 36 поддержания температуры оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3. Это может быть резервуар 37, заполненный теплоносителем 38 и совмещённый с оптическим интерфейсом 4 (см. фиг. 7 и фиг. 8). При этом узел 36 поддержания температуры оптически прозрачного элемента 8, предназначенного

для контакта с фотополимером 3, может обеспечивать как охлаждение, так и нагрев поверхности оптического интерфейса 4 и/или фотополимера 3.

Может быть организована циркуляция теплоносителя 38 к внешним устройствам нагрева и/или охлаждения. Циркуляция теплоносителя 38 может быть организованна, например, с помощью насоса. Температура теплоносителя 38 и/или фотополимера 3 может поддерживаться на заданном уровне любым известным способом: нагревом с помощью термоэлектрических нагревателей сопротивления, источников инфракрасного излучения, элементов Пельтье, нагревом и охлаждением с помощью компрессорной холодильной машины и др. В качестве теплоносителя 38 может использоваться вода, органические жидкости, их сочетания, водные и неводные растворы солей. Конкретный тип теплоносителя 38 может быть выбран, исходя из заданного температурного диапазона и других условий применения. Важным требованием к теплоносителю 38 является его высокая проницаемость в области спектра актиничного излучения. Также может осуществляться поддержание температуры с использованием в качестве теплоносителя 38 подходящей газовой смеси или воздуха. Любое из упомянутых решений известно специалистам в данной области техники.

Заявляемый способ формирования трехмерного изделия 6 из жидкого фотополимера 3, отверждаемого актиничным излучением, включает осуществление проекции элементарного сечения актиничным излучением, непрерывную экспозицию последовательности элементарных сечений, перемещение формируемого изделия 6 вдоль оси построения, формирование изделия 6 из подвижной граничной области 12 фотополимера 3. Подвижность граничной области 12 фотополимера 3 обеспечивают тем, что осуществляют преобразование

волнового фронта актиничного излучения таким образом, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, причем в подвижной граничной области 12 фотополимер 3 экспонируется частично.

Проекция актиничным излучением посредством соответствующей программной функции для обработки моделей элементарных сечений изделия 6 может формироваться таким образом, что каждое элементарное сечение разбивается на фрагменты, экспозиция которых осуществляется поочередно, с плавными либо резкими переходами, либо с применением градиента яркости, либо с паузами в экспозиции, либо все перечисленные приемы применяются одновременно, либо в любых других комбинациях, причем минимальный размер фрагмента может составлять один пиксель изображения.

Компоновка устройства может быть выполнена так, что движение построения направленно вверх вдоль вертикальной оси, когда формируемое изделие 6 извлекается из емкости 2 для фотополимера 3. Пример такой реализации устройства представлен на фиг. 1.

Компоновка устройства может быть выполнена так, что движение построения направленно вниз вдоль вертикальной оси, когда формируемое изделие 6 погружается в емкость 2 с фотополимером 3, либо в емкость с жидкостью, на поверхности которой находится фотополимер 3. Пример такой реализации устройства представлен на фиг. 12.

Устройство для реализации способа по данному изобретению может быть выполнено в виде сменного узла (кассеты), содержащего необходимые для реализации способа компоненты и реагенты. Пример такой реализации устройства представлен на фиг. 13. Устройство в таком варианте исполнения может включать, но не только, емкость 2 для фотополимера 3, оптический интерфейс 4, датчик 14 уровня фотополимера 3, узел 16 пополнения уровня

фотополимера 3, узел 36 поддержания температуры, источник 31 колебаний и др. В таком случае устройство может использоваться в составе любой подходящей системы для построения изделия 6 из жидкого фотополимера 3, отверждаемого актиничным излучением

Устройство для реализации способа по данному изобретению может быть выполнено в виде полного программно-технического комплекса, например, содержащего: несущий каркас 39, емкости 2 для фотополимера 3, внешний резервуар 40 для теплоносителя 38, насосы 41 для их перекачивания, источники 31 механических, звуковых и/или ультразвуковых колебаний, механизм 5 для перемещения формируемого изделия 6, электрические схемы, контроллеры, средства температурного контроля - охлаждения и нагрева, один или несколько, источников 1 актиничного излучения и/или источников1 актиничного монохроматического когерентного излучения, средства калибровки и настройки. Такой вариант исполнения устройства может предусматривать также использование компьютера общего применения на котором запускается необходимое программное обеспечение (фиг. 14).

Лучший вариант осуществления изобретения

Заявляемое устройство работает следующим образом, реализуя заявляемый способ.

Включают источник 1 актиничного излучения с пространственной модуляцией, формируют элементарную проекцию изделия 6, производят непрерывную экспозицию в виде последовательности элементарных сечений изделия 6 актиничным излучением, одновременно перемещают формируемое изделие 6 вдоль оси построения. Формирование изделия 6 происходит из подвижной граничной области 12, при этом подвижность граничной области 12 обеспечивают преобразованием волнового фронта актиничного излучения таким образом, что в этой зоне

фотополимер 3 экспонируется частично.

Преобразование волнового фронта актиничного излучения обеспечивает полимеризацию и отверждение фотополимера 3 в пределах частей объема фотополимера 3, максимальный объем которых сосредоточен на некотором, заранее определенном, расстоянии от поверхности 11 оптического интерфейса 4 (фиг. 3). Вблизи поверхности оптического интерфейса 4 большее количество фотополимера 3 не экспонируется и сохраняется в неотвержденном состоянии без применения каких-либо ингибиторов и вспомогательных реагентов.

Малая площадь контакта фрагментов формируемого изделия 6 с поверхностью 11 оптического интерфейса 4 и подвижность граничного с поверхностью 11 оптического интерфейса 4 слоя фотополимера 3 обеспечивает облегченное преодоление прилипания формируемого изделия 6 к поверхности 11 оптического интерфейса 4 и свободный приток свежих порций фотополимера 3 в область экспозиции в процессе непрерывного формирования изделия 6 (фиг 4).

В состав оптического интерфейса 4 входит, как минимум, один элемент, осуществляющий преобразование волнового фронта актиничного излучения, образующего проекцию изделия. На фиг. 2 показано распределение энергии, реализуемой элементарным фокусирующим элементом 22 преобразователя 7 волнового фронта, например, микролинзой. Энергия актиничного излучения, приходящаяся на площадь элементарного фокусирующего элемента 22 преобразователя 7 волнового фронта в плоскости поверхности 11 оптического интерфейса 4 концентрируется на площади, значительно меньшей, чем площадь элементарного фокусирующего элемента 22, и далее распределяется до исходной площади в базовой плоскости 26 построения изделия 6.

При использовании преобразователя 7 волнового фронта актиничного излучения, выполненного в виде массива элементарных фокусирующих элементов 22, площадь участков контакта фрагментов формируемого изделия 6 с поверхностью 11 оптического интерфейса 4 (S_p), в основном, определятся: положением поверхности 11 оптического интерфейса 4 относительно точки фокуса элементарного фокусирующего элемента 22, аберрациями элементарного фокусирующего элемента 22, несовершенством конструкции, диффузным рассеянием актиничного излучения в материале оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3. Экспериментально установлено, что практически достижима величина пятна экспозиции (S_p) на поверхности 11 оптического интерфейса 4 около 25мкм^2, таким образом для S_p = 25мкм^2 при использовании элементарного фокусирующего элемента квадратной формы размерами 30х30мкм, то есть площадью $S_{эл}$=900мкм^2, коэффициент соотношения площадей $K_{эл}=S_{эл}/S_p$ составляет $K_{эл}$=900мкм^2/25мкм^2=36, или при использовании элементарного фокусирующего элемента квадратной формы размерами 40х40мкм ($S_{эл}$=1600мкм^2) $K_{эл}$=1600мкм^2/25мкм^2=64.

Коэффициент $K_{эл}$ действителен для всей площади оптического интерфейса 4. Это означает, что суммарная площадь экспозиции на поверхности 11 оптического интерфейса 4 и, соответственно, площадь контакта фрагментов изделия 6 с поверхностью 11 оптического интерфейса 4 меньше, чем площадь сечения формируемого изделия 6 в 36 и 64 раза, соответственно.

То, что при формировании проекции сечения изделия 6 актиничным излучением элементарное сечение разделяют на фрагменты, экспозицию которых осуществляют поочередно, обеспечивает значительное уменьшение моментальной силы прилипания формируемого изделия 6 к поверхности 11 оптического

интерфейса 4 в процессе непрерывного перемещения изделия 6 вдоль оси построения за счет существенного уменьшения совокупной площади фрагментов изделия 6, имеющих контакт с поверхностью 11 оптического интерфейса 4 в каждый момент времени.

Достигается это следующими средствами: В результате специальной программной обработки каждая проекция сечения формируемого изделия 6 в пределах экспонируемой части содержит отдельные фрагменты - пиксели и/или группы пикселей, в которых моментальный уровень яркости актиничного излучения выше, чем на остальной экспонируемой площади сечения, причем со сменой проекции сечения расположение таких пикселей и/или групп пикселей меняется.

Степень отверждения фотополимера 3 на участках с более интенсивной моментальной экспозицией выше, и прилипание фотополимера 3 к поверхности 11 оптического интерфейса 4 происходит прежде всего именно на этих участках. Поскольку перемещение изделия 6 осуществляется непрерывно, немедленный отрыв фрагментов изделия 6 от поверхности 11 оптического интерфейса 4 происходит именно на этих участках.

Как было показано выше, моментальная площадь участков контакта, благодаря преобразованию волнового фронта актиничного излучения, в 36-64 раза меньше площади экспонируемого сечения. В дополнение к этому, при опережающем отверждении фотополимера 3, например, на половине участков контакта фрагментов формируемого изделия 6 с поверхностью 11 оптического интерфейса 4, общий моментальный коэффициент соотношения площади контакта и площади сечения изделия 6 может быть увеличен вдвое, то есть составить, соответственно, 72 и 128, что, соответственно, уменьшает силу прилипания фрагментов формируемого изделия 6 к поверхности 11 оптического интерфейса 4.

При использовании преобразователя 7 волнового фронта в виде матрицы фокусирующих элементов 22 поверхность 10 построения (полимеризации) в области каждого фокусирующего элемента 22 имеет форму, подобную пирамидальной, как это показано на фиг. 3 и фиг. 4, а интенсивность актиничного излучения и, соответственно, интенсивность полимеризации возрастает к вершинам пирамид. Площадь вовлечения фотополимера 3, не подвергавшегося экспозиции, в зону экспозиции приблизительно соответствует площади поверхности 10 полимеризации изделия 6, имеющей регулярную рельефную форму. Например, при использовании элементарного фокусирующего элемента 22 преобразователя 7 волнового фронта размерами 30х30мкм и с фокусным расстоянием 30мкм площадь вовлечения фотополимера 3 в зону экспозиции приблизительно в 2,2 раза больше, чем площадь поверхности сечения формируемого изделия, и приблизительно в 80 раз больше, чем площадь контакта фрагментов формируемого изделия 6 с поверхностью 11 оптического интерфейса 4.

Диффузное рассеяние актиничного излучения фотополимером 3 и материалом поверхности 11 оптического интерфейса 4 размывает границы между экспонируемой и неэкспонируемой областями в объеме фотополимера 3.

Важно, что даже с учетом диффузного рассеяния актиничного излучения, от 60 до 65% объема фотополимера 3 оказывается неэкспонируемой, образуя подвижную граничную область 12.

В процессе перемещения формируемого изделия 6 по направлению от поверхности 11 оптического интерфейса 4 в область экспозиции вовлекаются и частично отвержденные, находящиеся в состоянии геля, участки фотополимера 3, частично экспонируемые благодаря диффузному рассеянию актиничного излучения в фотополимере 3 и в материале оптического интерфейса 4.

Важной особенностью способа, предложенного в данной заявке, является возможность регулировать (оптимизировать) объем подвижной области 12, в которой фотополимер 3 сохраняет подвижность (фиг. 3), путем выбора фокусного расстояния элементарного фокусирующего элемента 22 голограммного оптического элемента 23, либо фокусного расстояния элементарной микролинзы массива 20 микролинз (фиг. 2).

Фокусные расстояния элементарных фокусирующих элементов 22 преобразователя 7 волнового фронта выбирают с учетом глубины проникновения актиничного излучения в фотополимер 3 и желаемой ширины подвижной области 12 построения в диапазоне от 10 до 100 мкм, оптимально 25-30 мкм.

Как было сказано ранее, одним из средств реализации преобразования волнового фронта является массив 20 полусферических микролинз (элементарных фокусирующих элементов 22), включенный в состав оптического интерфейса 4. Такой преобразователь 7 волнового фронта показан на фиг. 5.

Преобразование волнового фронта актиничного излучения в целях реализации данного изобретения может осуществляться также любым другим известным голограммным оптическим элементом 23, например, пропускающей и/или отражательной голограммой, тонкой или объемной голограммой, синтезированной и записанной с применением любых известных методов синтеза и записи голограмм, могут применяться голограммные оптические элементы 23, известные как киноформ. В одном из вариантов реализации киноформ может представлять собой массив микроскопических линз Френеля. Такой преобразователь 7 волнового фронта показан на фиг. 6.

Преобразователи 7 волнового фронта различных типов имеют различные показатели энергетической эффективности. Наиболее

эффективными являются микролинзы, голограммы Френеля - киноформ и объемные фазовые голограммы, эффективность этих преобразователей может составлять от 90 до 100%.

При использовании в качестве преобразователя 7 волнового фронта массива 20 микролинз либо голограммного оптического элемента 23, например, типа киноформ, в большинстве случаев для экспозиции достаточно применения обычных источников 1 актиничного излучения, таких, например, как ртутные лампы или светодиоды мультимедийных проекторов, которые имеют смешанный спектр УФ и видимого диапазона. Также могут быть применены источники, имеющие спектр преимущественно в УФ диапазоне.

Предпочтительно источник 1 актиничного излучения должен иметь функцию пространственной модуляции. Могут применяться, например, проекторы, содержащие матрицы микрозеркал, транспарантные ЖК-матрицы 27 и др.

В случае использования в качестве источника 1 актиничного излучения источника монохромного когерентного излучения - лазера с применением пространственной модуляции, возможно формирование в области 12 построения изделия 6 голограммы в виде пространственной интерференционной картины с заданным пространственным распределением энергии актиничного излучения. Это позволяет реализовать такой процесс полимеризации и отверждения фотополимера 3, когда отверждение фотополимера 3 происходит преимущественно на некотором удалении от поверхности 11 оптического интерфейса 4, в то время, как фотополимер 3, находящийся на поверхности 11 оптического интерфейса 4, в основном, будет оставаться подвижным.

При использовании двух и более источников 1 актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса 4, в случае, когда

источники 1 актиничного излучения работают на одинаковой длине волны и каждый из источников 1 обеспечивает экспозицию своей части площади сечения, возможна экспозиция сечений изделий 6 большей площади с сохранением разрешающей способности по осям плоскости 26 построения (фиг. 15).

Как было показано выше, фрагменты, образованные вершинами элементарных пирамидальных структур, которые образуют поверхность 10 построения формируемого изделия 6, имеют контакт с поверхностью оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, и могут прилипать к нему (фиг. 3).

Сила, необходимая для отрыва фрагментов формируемого изделия 6 от поверхности 11 оптического интерфейса 4, может быть приблизительно выражена соотношением:

$$F=K_m(P_aS_p+S_pk)$$

где:

P_a - атмосферное давление, равное 1,02 кгс/см^2;

S_p - общая площадь контакта фрагментов формируемого изделия с поверхностью оптического интерфейса, см^2;

k - адгезия фотополимера к материалу оптически прозрачного элемента, предназначеного для контакта с фотополимером, кгс/см^2;

K_m - коэффициент учета деформации поверхности оптического интерфейса, (не превышает 1).

Коэффициент учета деформации поверхности 11 оптического интерфейса 4 учитывает уменьшение силы, необходимой для отрыва, благодаря так называемому «эффекту пиллинга», когда отслоение начинается от краев плоской площадки участка прилипания благодаря локальной деформации поверхности оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3.

Оценочные расчеты и экспериментальные данные дают диапазон значения силы, необходимой для отрыва формируемого изделия 6 от

поверхности 11 оптического интерфейса 4 от 0,034 до 0,015 кгс на один $см^2$ экспонируемой площади сечения, а в ряде случаев и 0,008 $кгс/см^2$ и менее.

При применении в качестве материала оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, материала с очень низкой поверхностной энергией, например фторполимера, полиэтилена и др., роль адгезии в прилипании может быть пренебрежимо малой в сравнении с ролью атмосферного давления. В качестве таких материалов, например, могут использоваться полипропилен, полиэтилен или другие полиолефины, например, полиметилпентен (TPX™) от Mitsui Chemicals, Inc, фторполимер, например, PTFE (Teflon®) от DuPont.

Альтернативными способами преодоления прилипания фрагментов поверхности 10 построения формируемого изделия 6 к поверхности оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3 являются:

- использование в качестве материалов для изготовления и/или покрытия элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, пористых и/или имеющих поверхностную капиллярную структуру гидрофильных материалов, содержащих воду и водные жидкости. В этом случае водная жидкость подается через поверхность оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, из полости между оптически прозрачным элементом 8, предназначенным для контакта с фотополимером 3, и преобразователем 7 волнового фронта, как это показано на фиг. 16;

- использование в качестве материалов для изготовления и/или покрытия элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, пористых и/или имеющих поверхностную капиллярную структуру гидрофильных материалов, содержащих воду и водные жидкости, включающие ингибиторы полимеризации. В качестве

таких материалов, например, могут использоваться плотные гидрогели на основе акриловой кислоты. В этом случае водная жидкость, содержащая ингибитор полимеризации, подается через микропористую поверхность оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, из полости между ним и преобразователем 7 волнового фронта, как это показано на фиг. 16;

- использование в качестве материалов для изготовления элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, газопроницаемых материалов, что, например, может способствовать проникновению кислорода, который является ингибитором радикальной полимеризации. В качестве таких материалов, например, могут использоваться TEFLON AF® от DuPont или полиметилпентен от Mitsui Chemicals, Inc. В этом случае газовая смесь, содержащая ингибитор полимеризации, подается через газопроницаемую поверхность элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, из полости между ним и преобразователем 7 волнового фронта, как это показано на фиг. 16.

Важно, что в случае использования описанных альтернативных методов для преодоления прилипания фрагментов формируемого изделия 6 к оптически прозрачному элементу 8, предназначенному для контакта с фотополимером 3, например, таких, как методы с использованием ингибирования полимеризации вблизи его поверхности, требуется весьма незначительное ингибирование. Важным также является то, что основная часть поверхности вовлечения фотополимера 3 в зону экспозиции должна находиться за пределами и ингибированной, и частично ингибированной зон, то есть формирование изделия 6 должно осуществляется из слоев фотополимера 3, которые не подвергались воздействию ингибитора. Поскольку площадь вовлечения фотополимера 3 в зону экспозиции превосходит площадь контакта фрагментов формируемого изделия 6 с

поверхностью оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, (то есть с ингибированной зоной) более, чем в 80 раз, то такое соотношение обеспечивает формирование изделия 6 практически полностью из неингибированного фотополимера.

Для управления процессом отрыва фрагментов формируемого изделия 6 от поверхности оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен с возможностью локальной деформации и выполнения колебательных движений. Такие колебания, например, могут возникать при отрывании фрагментов формируемого изделия 6 - вершин участков регулярной структуры, показанных на фиг. 3. Возможность локальной (в пределах площади элементарного фокусирующего элемента 22) деформации оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, позволяет облегчить отрыв фрагментов формируемого изделия 6 от поверхности оптически прозрачного элемента 8, используя «эффект пиллинга», когда отслоение начинается от краев плоской площадки участка прилипания благодаря локальной деформации поверхности оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3. Процесс колебаний поверхности 11 оптического интерфейса 4 позволяет интенсифицировать процесс переноса свежих порций фотополимера 3 в область формирования изделия 6 - колебания мембраны перекачивают фотополимер 3 вдоль поверхности 11 оптического интерфейса 4. Это позволяет повысить скорость формирования изделия 6 благодаря более интенсивному притоку фотополимера 3 в область формирования изделия 6.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, может быть выполнен с возможностью выполнения

вынужденных колебательных движений, осуществляемых непрерывно или периодически. Такие колебания обеспечивают отрыв материала элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, от фрагментов формируемого изделия 6 и интенсифицируют приток фотополимера 3 в область экспозиции. Не исключающий пример реализации вынужденных колебаний оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, показан на фиг. 11.

Оптически прозрачный элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать герметичное соединение, например, могут использоваться герметики или герметичные уплотнения, расположенные по периметру этих элементов (на фигурах не показано).

Для уравнивания давления в полости между оптически прозрачным элементом 8, предназначенным для контакта с фотополимером 3, и преобразователем 7 волнового фронта с атмосферным давлением элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать негерметичное соединение, например, может использоваться газопроницаемый сепаратор, установленный в качестве прокладки между этими элементами вдоль их периметра (на фигурах не показано).

В случаях, например, когда для компенсации массы жидкого фотополимера 3 требуется регулировать давление среды между оптически прозрачным элементом 8, предназначенным для контакта с фотополимером 3, и преобразователем 7 волнового фронта, и/или когда требуется обеспечивать наличие среды определенного состава, например, водной жидкости в случае использования оптически прозрачного элемента 8 в виде проницаемой гидрофильной мембраны, или определенной газовой среды, в случае использования оптически

прозрачного элемента 8 в виде газопроницаемой мембраны, элемент 8, предназначенный для контакта с фотополимером 3, и преобразователь 7 волнового фронта могут образовывать герметичное соединение таким образом, чтобы полость между ними сообщалась с отдельным резервуаром 33, например, посредством трубопровода. Для циркуляции и/или подачи заданной среды и регулирования ее потока могут применяться клапаны 34, краны, насосы 35 различных типов. Не ограничивающий пример такой конструкции показан на фиг. 16.

Для каждого из рассмотренных примеров реализации изобретения подвижность слоя, граничного с поверхностью 11 оптического интерфейса 4, достигается преобразованием волнового фронта актиничного излучения, образующего проекцию формируемого изделия 6, и обеспечивает облегченное преодоление прилипания фрагментов формируемого изделия 6 к поверхности оптически прозрачного элемента 8, предназначенного для контакта с фотополимером 3, и эффективный постоянный приток фотополимера 3 в зону экспозиции в процессе перемещения изделия 6 вдоль оси построения.

Режим перемещения формируемого изделия 6 вдоль оси построения - предпочтительно непрерывный, с равномерной либо переменной скоростью. Скорость перемещения может составлять от около 0,1 или 10 микрон в секунду, вплоть до 100, 1000 или 10000 микрон в секунду, в зависимости от таких факторов, как интенсивность актиничного излучения, структура изделия 6, температура и вязкость фотополимера 3 и т.д.

Может быть реализован шаговый режим перемещения формируемого изделия 6, например, от 0,1 или 1 мкм, вплоть до 10 или 100 микрон или более для каждого шага, с постоянным либо переменным размером шага.

В отдельных случаях экспозиция сечения изделия 6 актиничным

излучением осуществляется предпочтительно в виде непрерывной последовательности элементарных сечений, интенсивность актиничного излучения определяется требуемыми параметрами процесса, такими как скорость перемещения, структура изделия 6, наличие красителей в фотополимере 3 и др.

Может быть реализован прерывистый режим экспозиции сечений актиничным излучением, с паузами или с колебаниями интенсивности, в зависимости от типа фотополимера 3, наличия или отсутствия красителей и др.

Управление процессом может осуществляться контроллером.

Контроллер может быть реализован в виде аппаратных схем, программного обеспечения и/или их комбинации. Например, контроллер может представлять собой компьютер общего назначения, который запускает программное обеспечение и который функционально связан с датчиками, например, с датчиками температуры, положения, интенсивности актиничного излучения и др., и исполнительными устройствами, например, приводом перемещения, системой поддержания температуры, источником актиничного излучения с пространственной модуляцией и др. через соответствующий интерфейс. Управление процессом осуществляется в соответствии с заданным алгоритмом функционирования и данными датчиков устройства. Принципы построения таких систем хорошо известны специалистам в данной области.

Программное обеспечение для управления процессом формирования трехмерного изделия включает, но не только, программы для 3D печати с открытым исходным кодом Slic3r, RepiicatorG, программный контроллер 3DPrint ™ от 3D-систем, Skeraforge, KISSlicer, Repetier и т.д., в том числе и их комбинации.

Выбор режимов работы может проводиться путем ввода ранее определенных параметров процесса или определяется методом «проб и

ошибок». Выбор режимов работы может проводиться путем мониторинга и обратной связи, их комбинации с ранее определенными режимами, или любым другим подходящим способом.

Трехмерные изделия, полученные с использованием способа и устройства в соответствии с данным изобретением, могут быть готовыми к применению или предназначенными для дальнейшей обработки. Стадиями дальнейшей обработки могут быть, например: механическая обработка, окраска, химическая обработка, склейка, заполнение пустот и внутренних каналов полимерными системами, которые впоследствии отверждаются, и др.

С использованием способа и устройства, в соответствии с данным изобретением, могут изготавливаться: модели и прототипы различных размеров и форм, в том числе такие, изготовление которых при использовании других технологий затруднено или невозможно, модели для литья по выжигаемым и/или выплавляемым моделям, корпуса электронных устройств, шестерни, рычаги, элементы крепления, трубки, декоративные элементы и др.

С использованием способа и устройства, в соответствии с данным изобретением, могут изготавливаться медицинские устройства и имплантируемые медицинские устройства, такие как стенты для сосудов, капсулы доставки лекарственных препаратов, массивы микроигл, стержни и волокна, профили различных сечений, оптические волокна, элементы микромеханических устройств, элементы микрофлюидных устройств, массивы микрокапилляров, различные целлюлярные и микроцеллюлярные структуры и т.д.

Геометрические размеры изделий, формируемых с использованием способа и устройства, в соответствии с данным изобретением, могут быть от 0,1 или 1 мм до 10 или 200 мм, или более в высоту и/или максимальной шириной от 0,1 или 1 мм до 10 или 200 мм или более в ширину. Изделие может также иметь высоту от 10 или 100

нанометров до 10 или 200 микрон или более и/или максимальной шириной от 10 или 100 нанометров до 10 или 200 микрон или более. Это только примеры: максимальный размер зависит от конструкции конкретного устройства и разрешающей способности источника актиничного излучения.

Поскольку способ и устройство в соответствии с данным изобретением позволяют использовать самые разнообразные фотополимерные системы, это дает возможность производить изделия из материалов с различными свойствами: изделия могут быть жесткими, гибкими, упругими или гелеобразными, как, например, гидрогель. Изделия также могут быть композитными, содержать армирующие включения и/или могут быть изготовлены из нескольких различных полимеров.

Ниже приведены примеры реализации заявляемых способа и устройства формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера с применением преобразования волнового фронта актиничного излучения для получения конкретных изделий.

Пример 1.

Тестовое изделие, имеющее крестоообразное сечение, на половине длинны закрученное в спираль, со структурной поверхностью, размерами 30x30x60мм, толщиной стенок 1,2мм (см. фиг. 20), изготовленное из прозрачного акрилового фотополмера от компании “Fun To Do”, Vossenkoog 2-4 1822BG Алкмар, Нидерланды

Использовалась конструкция оптического интерфейса, представляющая собой резервуар для фотополимера из полиэтилена, дно которого выполнено в виде композитной структуры, аналогичной приведенной на фиг. 7, где: в качестве материала элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, использовалась полипропиленовая пленка толщиной 20 мкм. В качестве преобразователя волнового фронта использовался массив

шестиугольных микролинз размером 80 мкм с фокусным расстоянием 40 мкм, на основе толщиной 300мкм, выполненный из ПММА (фиг. 17). Формы для литья таких линз на стандартном оборудовании доступны от компани "NIL Technology" Ap Diplomvej 381 DK-2800 Kongens Lyngby, Дания.

Экспозиция осуществлялась мультимедийным проектором актиничного излучения с пространственной модуляцией микрозеркальной матрицей DLP, имеющим разрешение 1929x1080, ACER P1500.

Движение однонаправленное непрерывное с шагом 2,4 мкм.

Скорость перемещения - 200 мкм/сек.

Экспозиция в виде непрерывной последовательности сечений.

Количество элементарных проекций сечения – 1800.

Время формирования изделия – 5 мин.

Пример 2.

Тестовое изделие, имеющее квадратное сечение размерами 6x6x50 мм (см фиг. 21), изготовленное из акрилового фотополимера от компании "Fun To Do" Vossenkoog 2-4 1822BG Алкмар, Нидерланды.

Использовалась конструкция оптического интерфейса, представляющая собой резервуар для фотополимера из фторполимера, дно которого выполнено в виде композитной структуры (фиг. 7), где:

- в качестве материала элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, использовалась полиэтиленовая пленка толщиной 10 мкм;

- в качестве преобразователя волнового фронта использовалась тонкая голограмма на пленочном носителе толщиной 30 мкм, представляющая массив голограммных линз квадратной формы с размерами элементарной микролинзы 25x25мкм и фокусным расстоянием 30мкм (см. фиг.18), такие голограммы изготавливает

компания “Holoptica” 425 Old Country Road, Suite A & B, Belmont CA 94002, США;

- в качестве узла охлаждения оптического интерфейса применен плоский резервуар толщиной 4 мм, заполненный теплоносителем, в качестве которого использовалась вода, циркуляция теплоносителя не осуществлялась.

Экспозиция осуществлялась мультимедийным проектором актиничного излучения с пространственной модуляцией микрозеркальной матрицей DLP, имеющим разрешение 1929X1080, ACER P1500.

Движение однонаправленное непрерывное с шагом 2,4 мкм.

Скорость перемещения – 167 мкм/сек.

Экспозиция в виде непрерывной последовательности сечений.

Использовалась фрагментарная экспозиция в виде полос с шагом 4 пикселя изображения, с чередованием экспонируемых и неэкспонируемых полос от проекции к проекции.

Количество элементарных проекций сечения – 1500.

Время формирования изделия – 6 мин.

Пример 3.

Тестовое изделие, имеющее крестообразное сечение размерами 10x10x80мм с толщиной стенок 0,8 мм, с гладкой поверхностью (см фиг. 22), изготовленное из фотополимера, содержащего белый пигмент, от компании “Fun To Do” Vossenkoog 2-4 1822BG Алкмар, Нидерланды.

Использовалась конструкция оптического интерфейса, представляющая собой резервуар для фотополимера из фторполимера, дно которого выполнено в виде композитной структуры (фиг. 7), где:

- в качестве материала элемента, предназначенного для контакта с фотополимером, использовалась пленка из ориентированного полиэтилена толщиной 8 мкм;

- в качестве преобразователя волнового фронта использовалась голограмма типа киноформ на пленочном носителе толщиной 30 мкм, представляющая собой массив голограммных линз Френеля шестиугольной формы с размерами элементарной микролинзы 35 мкм и фокусным расстоянием 40 мкм (см. фиг. 19), такие голограммы изготавливает компания "Holoptica" 425 Old Country Road, Suite A & B, Belmont CA 94002, США;

- в качестве узла охлаждения оптического интерфейса применен плоский резервуар толщиной 4 мм, заполненный теплоносителем, в качестве которого использовалась вода, циркуляция теплоносителя не осуществлялась.

Экспозиция осуществлялась мультимедийным проектором актиничного излучения с пространственной модуляцией микрозеркальной матрицей DLP, имеющим разрешение 1929x1080, ACER P1500.

Движение однонаправленное непрерывное с шагом 2,4 мкм.

Скорость перемещения - 113,3 мкм/сек.

Экспозиция в виде непрерывной последовательности сечений.

Количество элементарных проекций сечения – 2000.

Время формирования изделия – 12 мин.

Пример 4.

Тестовое изделие сферической формы диаметром 50 мм со средней толщиной элементов 2 мм, с гладкой поверхностью, (см фиг. 23) изготовленное из фотополимера, содержащего белый пигмент от компании «Fun To Do» Vossenkoog 2-4 1822BG Алкмар, Нидерланды.

Использовалась конструкция оптического интерфейса, представляющая собой резервуар для фотополимера из фторполимера, дно которого выполнено в виде композитной структуры (фиг. 1), где:

- в качестве материала элемента, предназначенного для контакта с

фотополимером, использовалась пленка из кремнийорганической композиции толщиной 35 мкм. Мембрана натянута с возможностью осуществления колебаний;

- в качестве преобразователя волнового фронта использовалась голограмма типа киноформ на пленочном носителе толщиной 30 мкм, представляющая собой массив голограммных линз Френеля шестиугольной формы с размерами элементарной микролинзы 35 мкм и фокусным расстоянием 40 мкм (см. фиг. 19). Такие голограммы изготавливает компания «Holoptica» 425 Old Country Road, Suite A & B, Belmont CA 94002, США.

Охлаждение воздушное.

Экспозиция осуществлялась мультимедийным проектором актиничного излучения с пространственной модуляцией микрозеркальной матрицей DLP, имеющим разрешение 1929x1080, ACER P1500.

Движение однонаправленное непрерывное с шагом 2,4 мкм.

Скорость перемещения - 113,3 мкм/сек.

Экспозиция в виде непрерывной последовательности сечений.

Количество элементарных проекций сечения – 1600.

Время формирования изделия - 7,3 мин.

Промышленная применимость

Промышленная применимость заявляемых способа и устройства подтверждается возможностью формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера и изготовления устройства для его осуществления на известном оборудовании в условиях промышленного производства с использованием известных материалов и средств.

Формула изобретения

1. Способ формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, отверждаемого актиничным излучением, включающий осуществление проекции элементарного сечения актиничным излучением, экспозицию последовательности элементарных сечений, перемещение формируемого изделия вдоль оси построения, формирование изделия из подвижной граничной зоны фотополимера, отличающийся тем, что подвижность граничной зоны фотополимера обеспечивают тем, что осуществляют преобразование волнового фронта актиничного излучения таким образом, что удельная мощность излучения на экспонируемых участках имеет градиент вдоль оси построения, причем в подвижной граничной зоне фотополимер экспонируется частично.

2. Способ формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.1, отличающийся тем, что при осуществлении проекции элементарного сечения актиничным излучением элементарное сечение разделяют на фрагменты, параметрами экспозиции каждого из которых управляют отдельно, например, экспозицию фрагментов осуществляют поочередно и/или с разным уровнем удельной мощности.

3. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера, содержащее, по крайней мере, один источник актиничного излучения, емкость для размещения фотополимера, снабженную окном - оптическим интерфейсом, и механизм перемещения изделия вдоль оси построения, отличающееся тем, что оптический интерфейс выполнен в виде, по крайней мере, одного преобразователя волнового фронта актиничного излучения, в области плоскости фокуса которого размещен оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером.

4. Устройство для формирования трехмерного изделия из

жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде матрицы микролинз, примыкающих боковыми сторонами друг к другу и размещенных в один слой на общем основании из оптически прозрачного материала.

5. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, например, в виде матрицы зонных пластинок Френеля, плоской фазовой или амплитудной голограммы, объемной фазовой пропускающей голограммы, матрицы голограммных линз, киноформа, или матрицы микролинз Френеля.

6. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или в виде пластины.

7. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что оптически прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, выполнен в виде мембраны из тонкой пленки или пластины, которая является преобразователем волнового фронта.

8. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что дополнительно содержит узел поддержания температуры оптически прозрачного элемента, предназначенного для контакта с фотополимером.

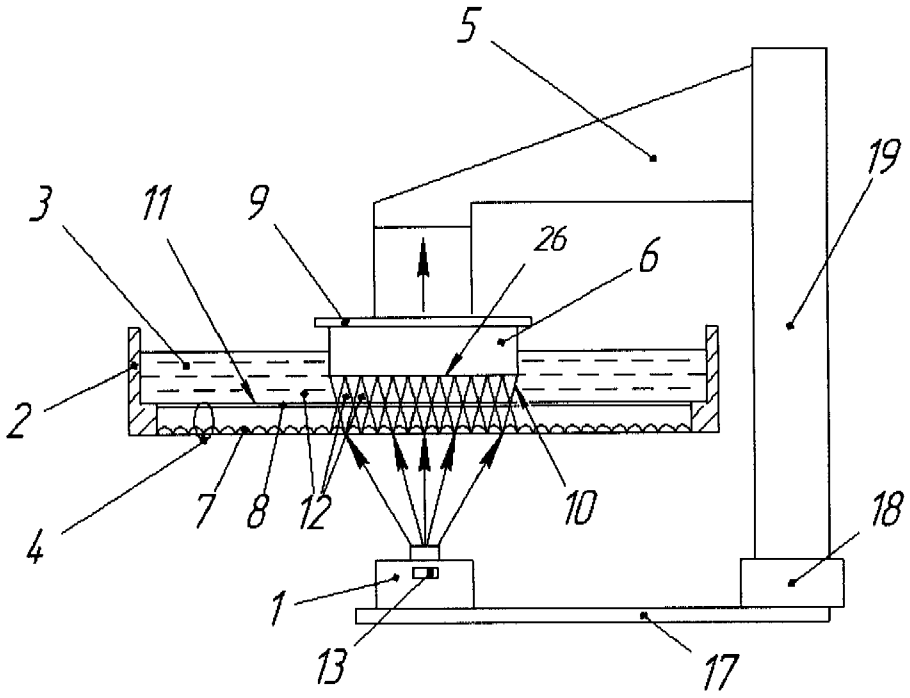
9. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что оптически

прозрачный элемент, предназначенный для контакта с фотополимером, может быть выполнен с возможностью выполнения колебательных движений.

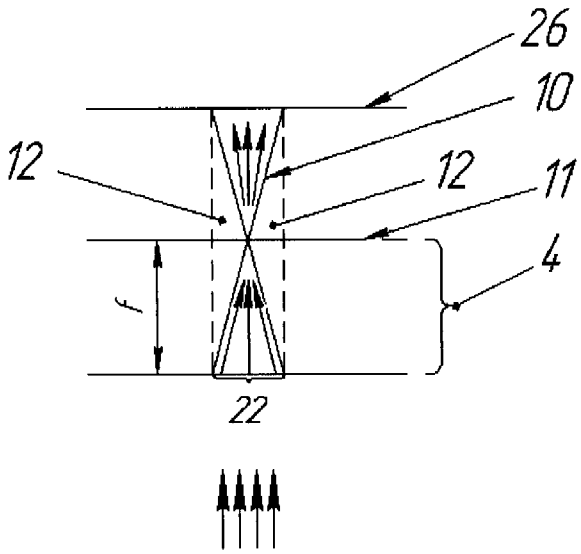
10. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.3, отличающееся тем, что содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему.

11. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.п. 3, 10, отличающееся тем, что содержит, по крайней мере, два преобразователя волнового фронта актиничного излучения, которые образуют оптическую систему, причем, по крайней мере, один преобразователь волнового фронта актиничного излучения выполнен в виде голограммного оптического элемента, пропускающей либо отражательной голограммы.

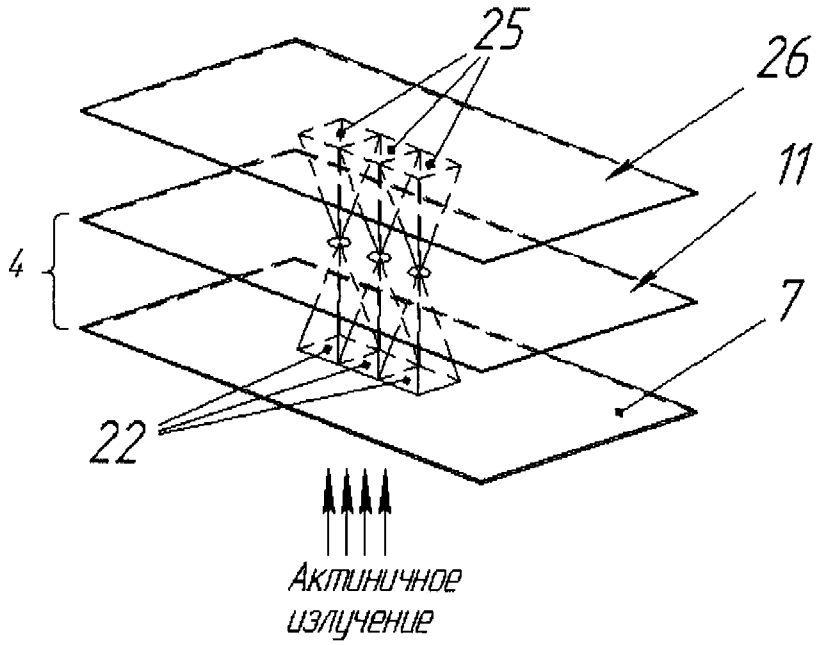
12. Устройство для формирования трехмерного изделия из жидкого фотополимера по п.2, отличающееся тем, что содержит, по крайней мере, два источника актиничного излучения, оси проекции которых образуют одинаковые или разные углы с плоскостью оптического интерфейса.


5
19
3
11
9
26
6
2
4
7
8
12
10
18
1
13
17

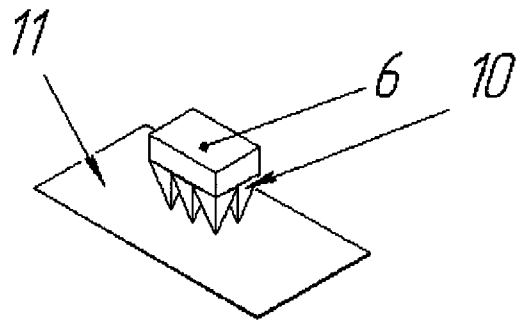
Фиг. 1


26
10
12
12
11
4
22
Актиничное
излучение

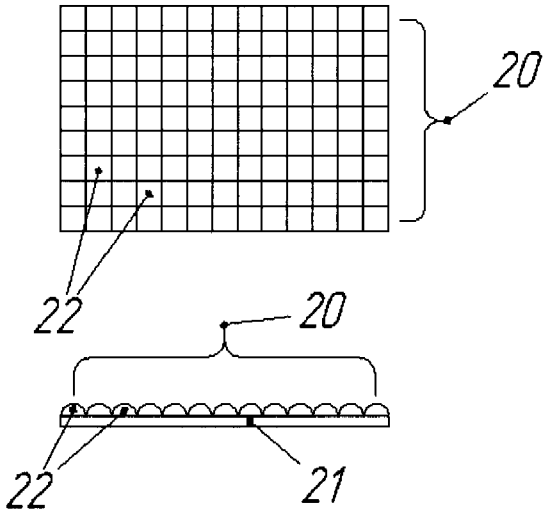
Фиг. 2



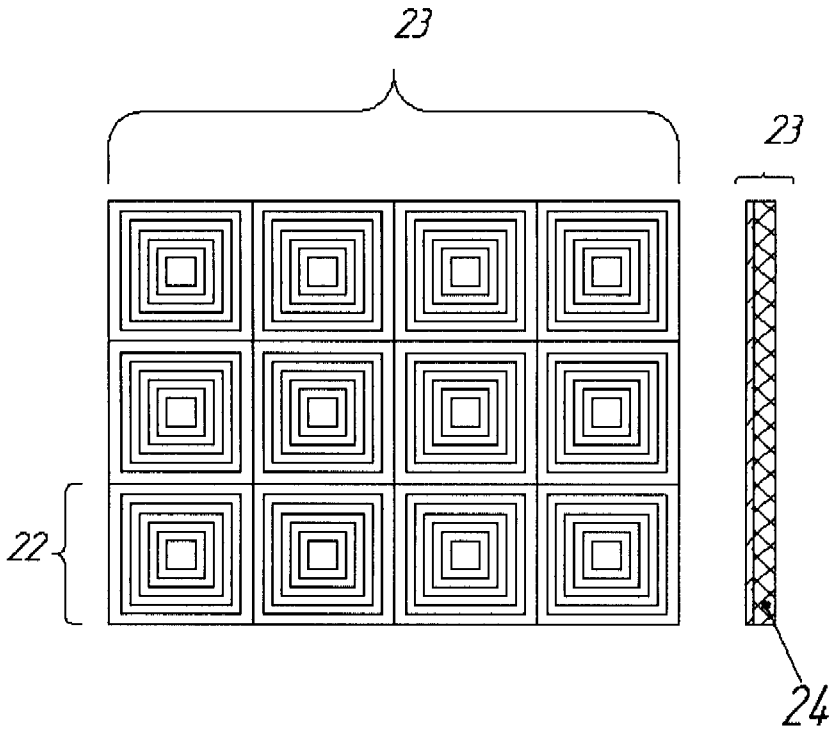
Фиг. 3



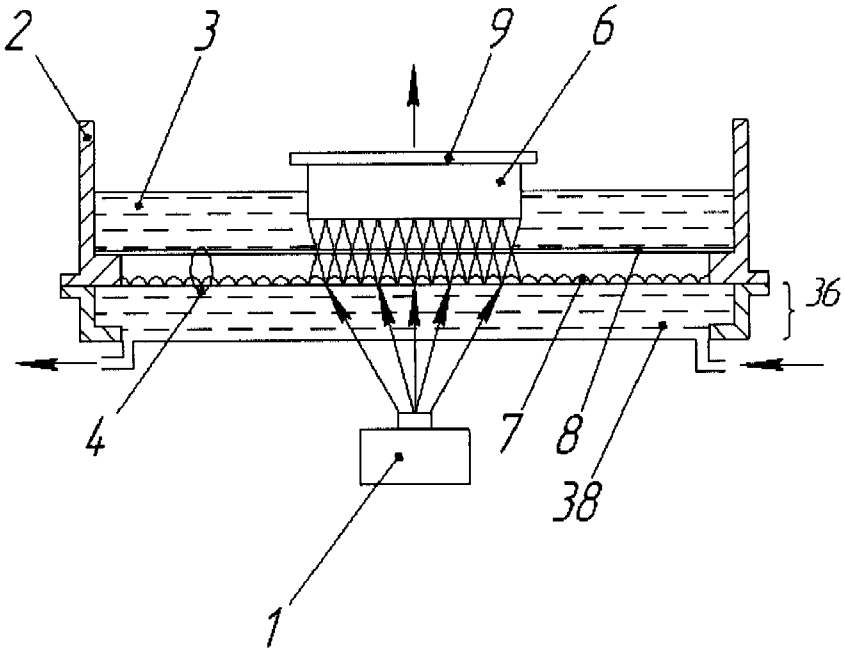
Фиг. 4



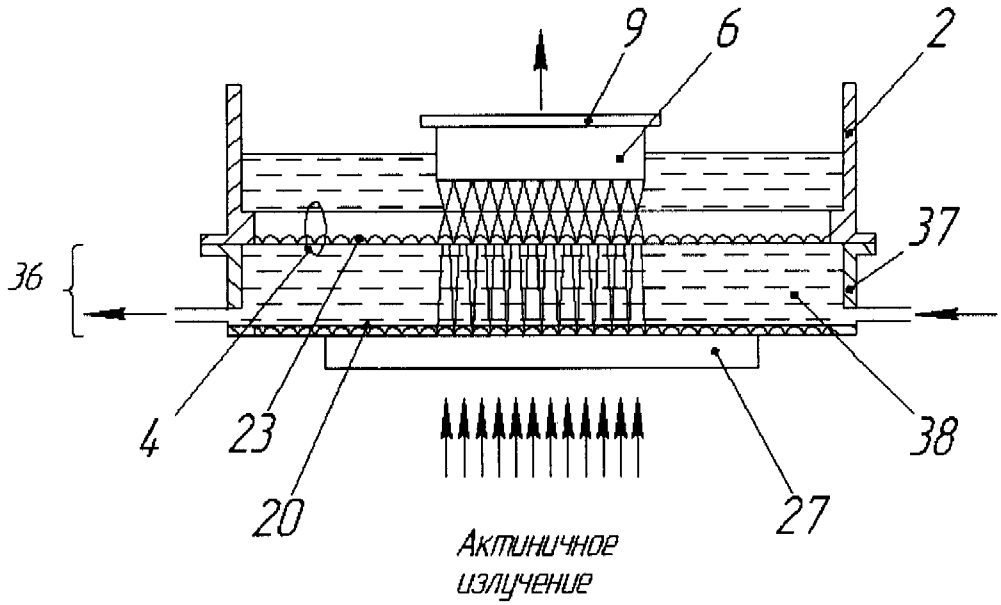
Фиг. 5



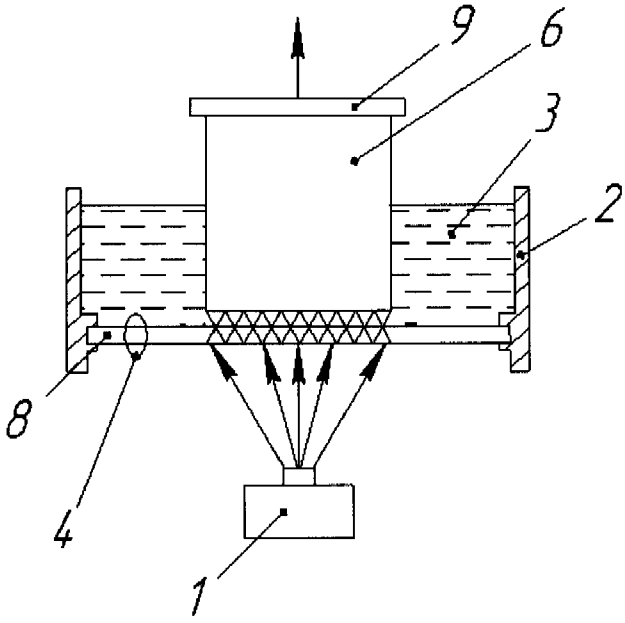
Фиг. 6



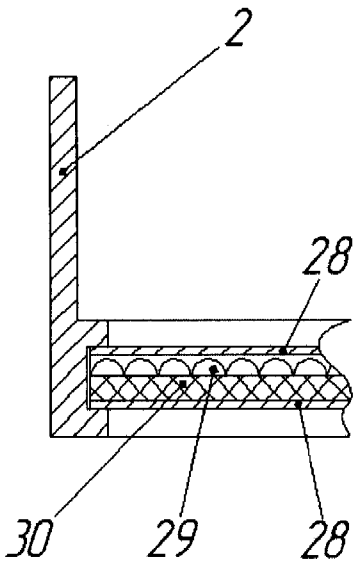
Фиг. 7



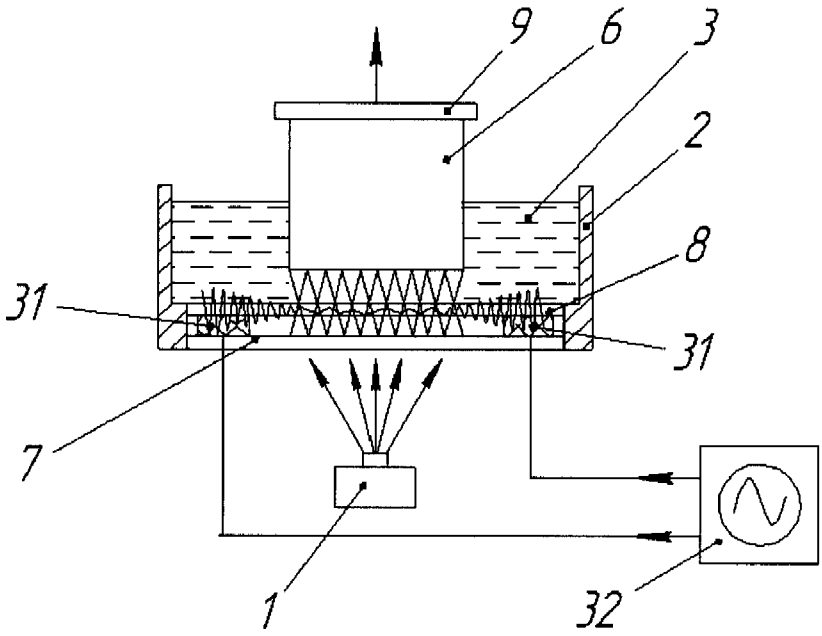
Фиг. 8



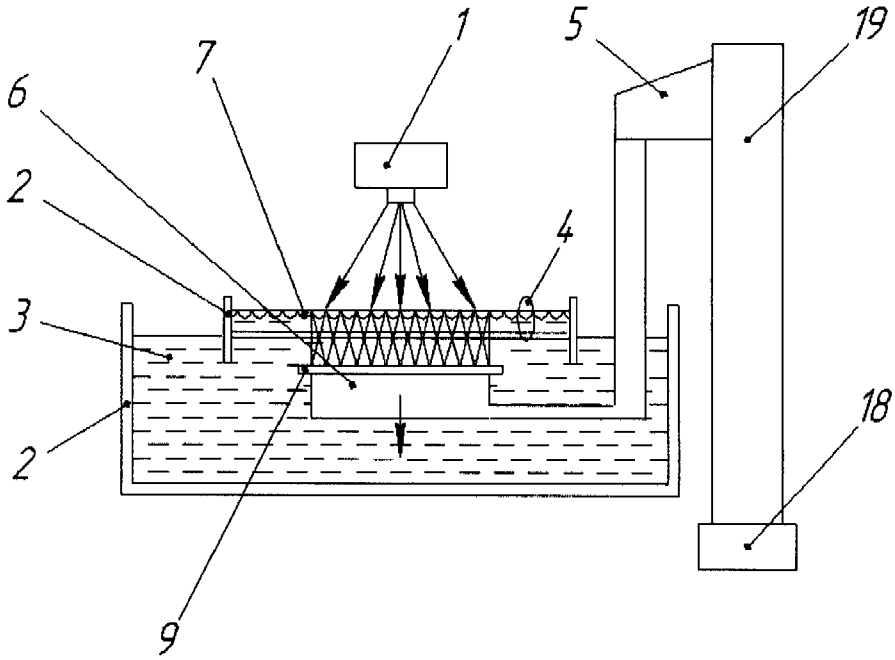
Фиг. 9



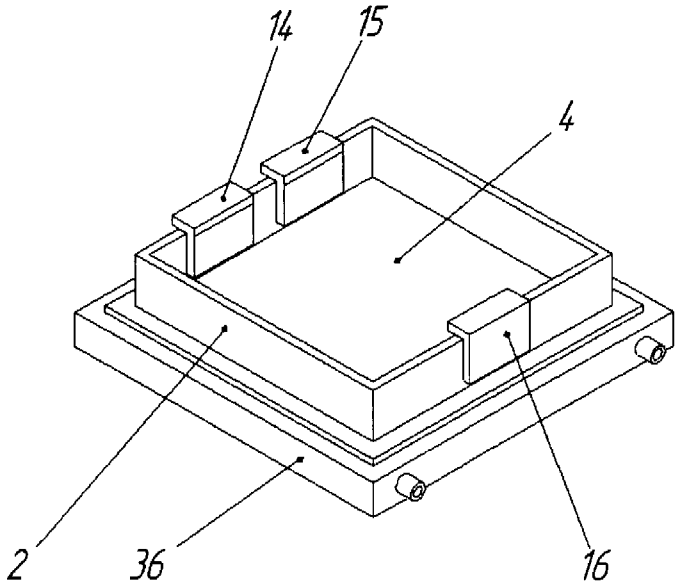
Фиг. 10



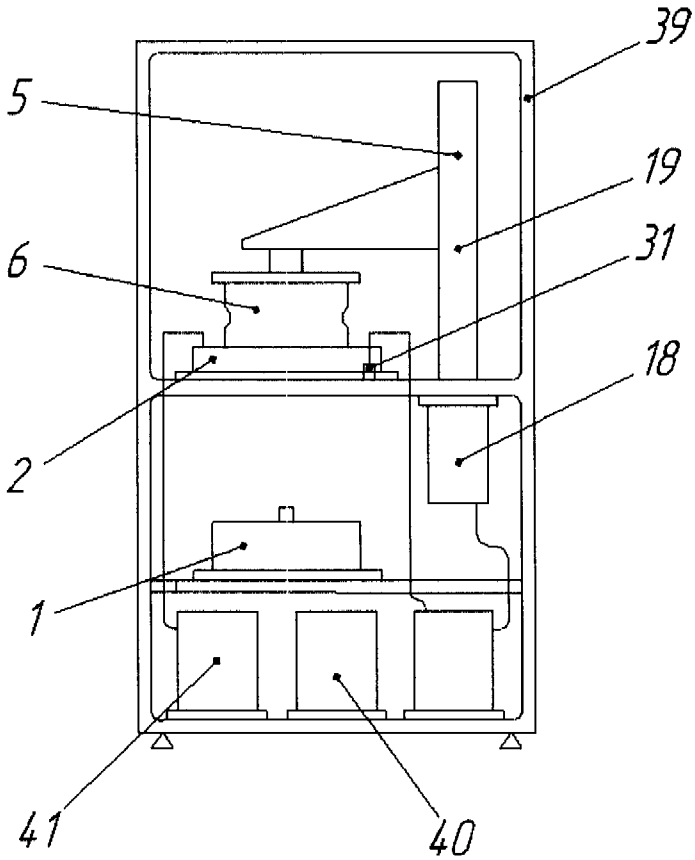
Фиг. 11



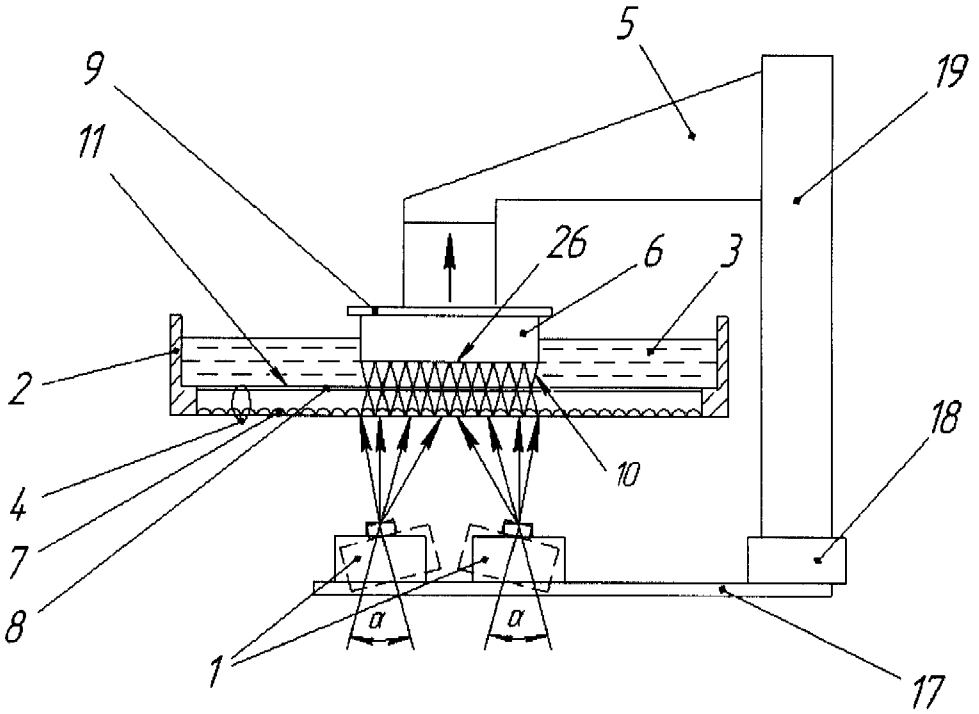
Фиг. 12



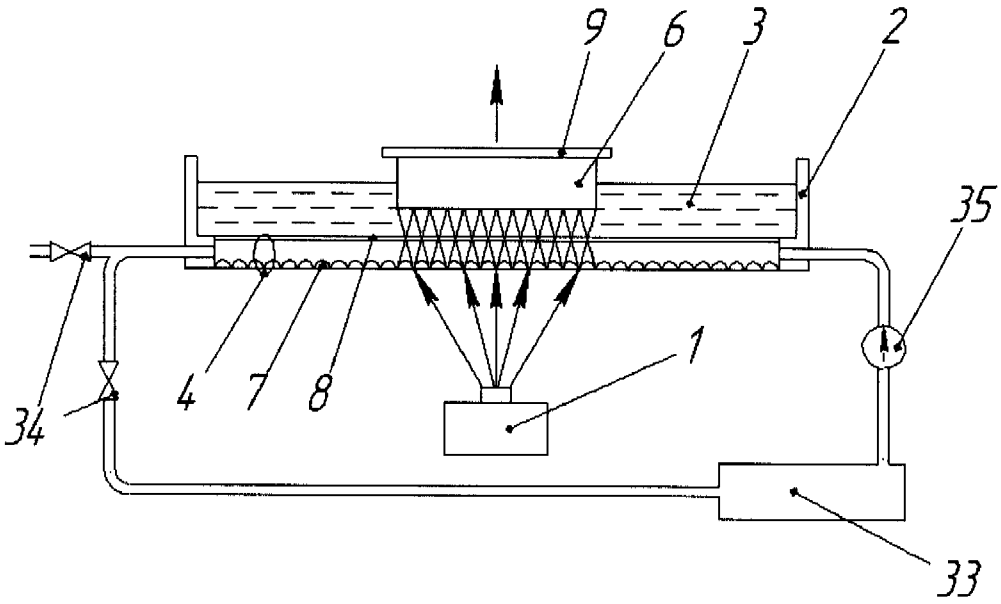
Фиг. 13



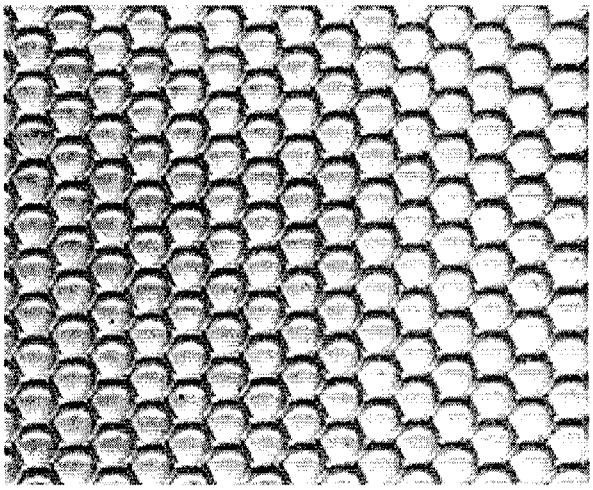
Фиг. 14



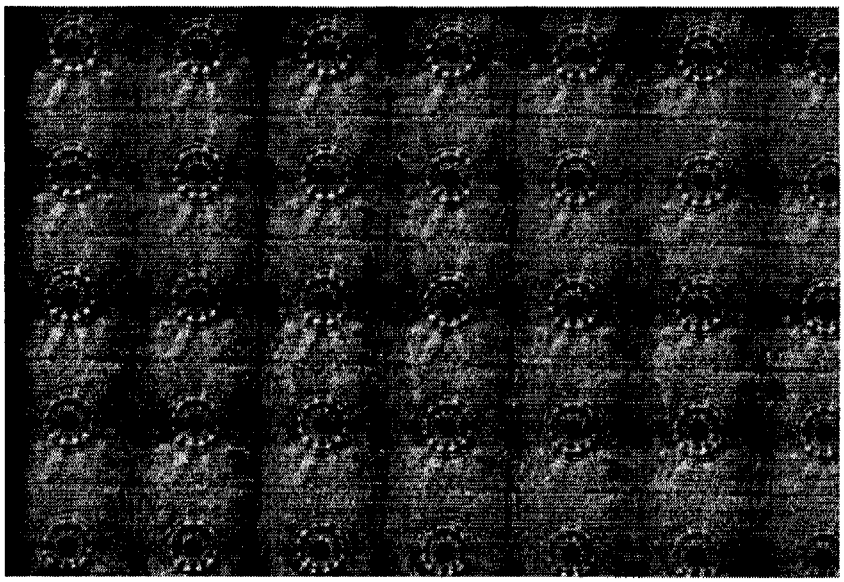
Фиг. 15



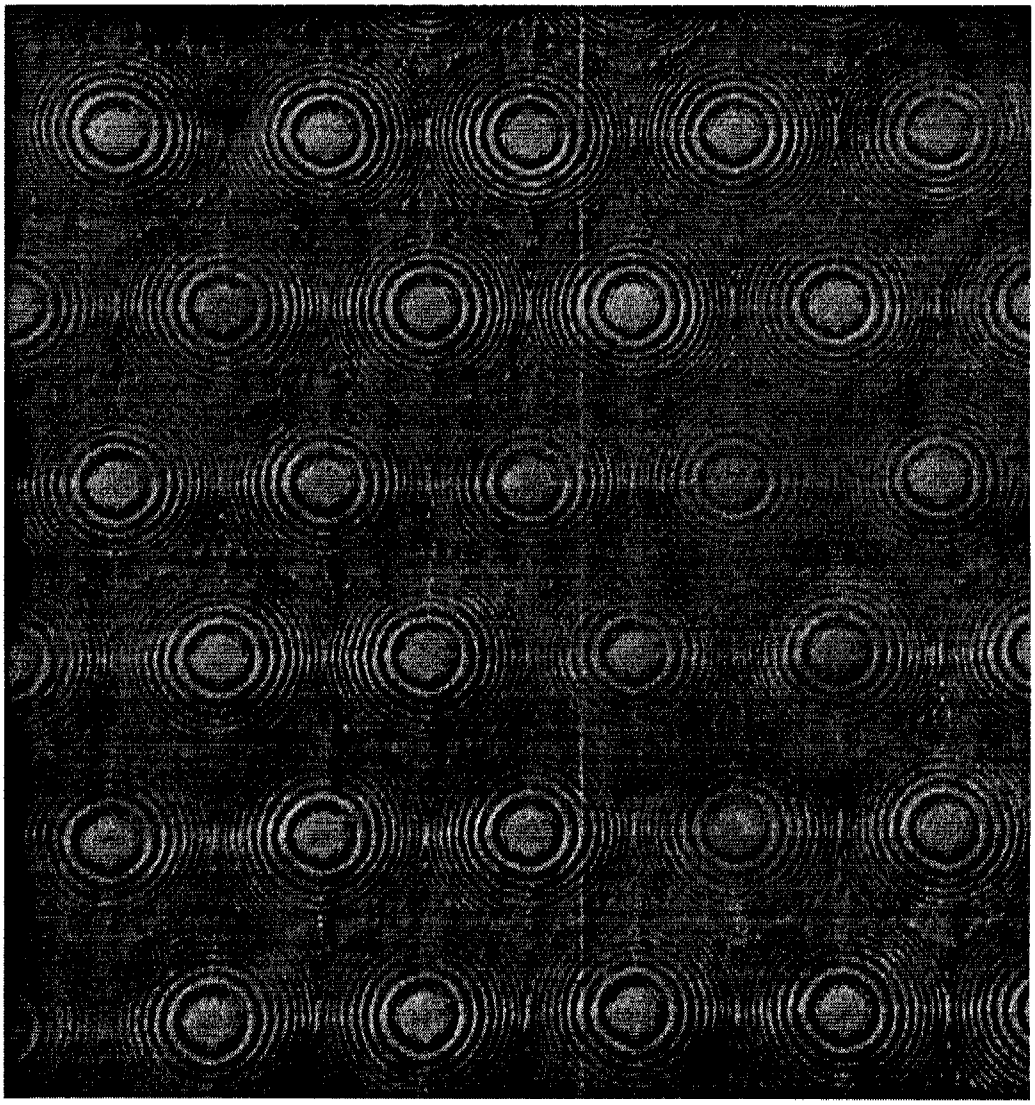
Фиг. 16



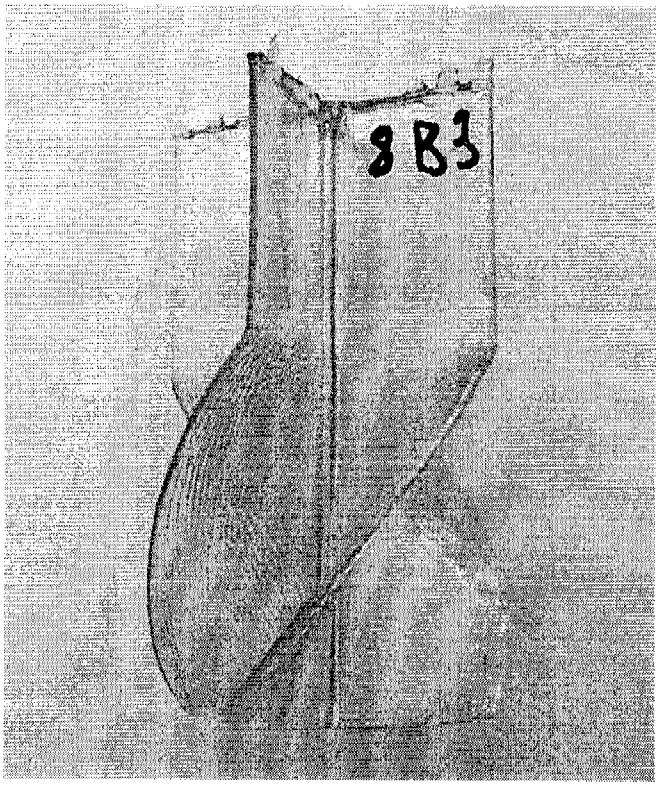
Фиг. 17



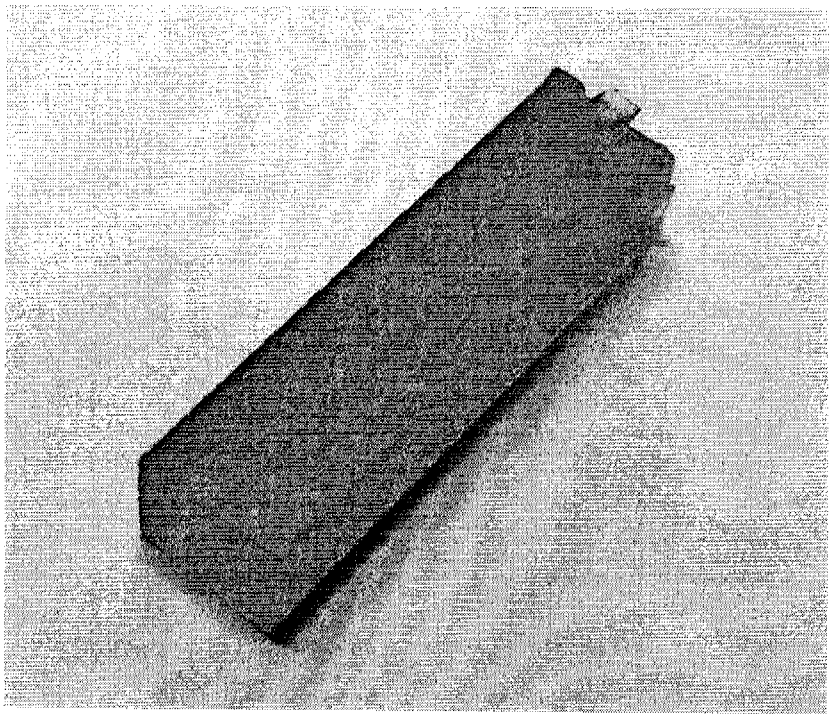
Фиг. 18



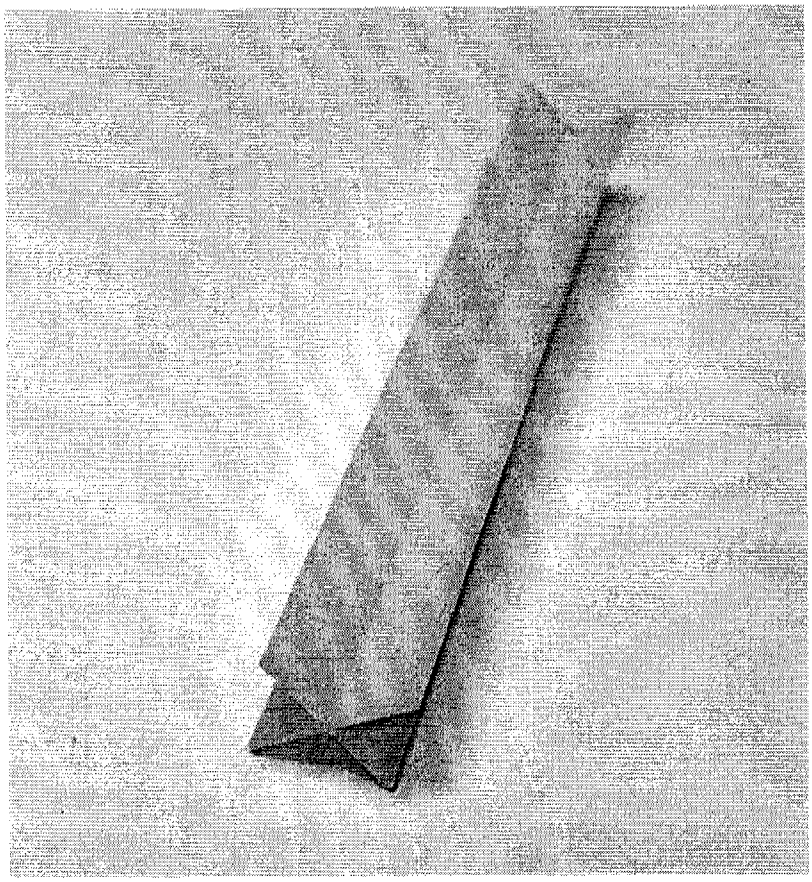
Фиг. 19



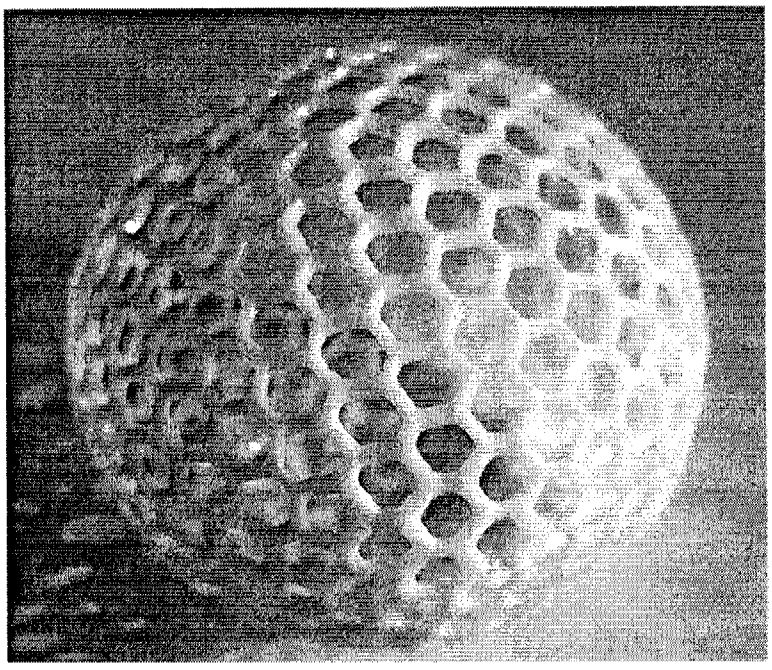
Фиг. 20



Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/UA 2016/000104

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29C 64/135 (2017.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29C 33/00 - 33/76, 35/00 - 35/18, 64/10, 64/135, 67/00 - 67/24, G03F 1/00 - 1/92, 7/00 - 7/42

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE, Information Retrieval System of FIPS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/292862 A1 (B9CREATIONS, LLC) 07.11.2013	1-2
A	US 5785918 A1 (SEAGATE TECHNOLOGY, INC.) 28.07.1998	1-2
A	WO 2014/126834 A2 (EIPI SYSTEMS, INC) 21.08.2014	1-2
A	US 6214276 B1 (CREO SRL) 10.04.2001	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05 May 2017 (05.05.2017)	11 May 2017 (11.05.2017)
Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/UA 2016/000104

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ

B29C 64/135 *(2017.01)*

Согласно Международной патентной классификации МПК

B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)

B29C 33/00 - 33/76, 35/00 - 35/18, 64/10, 64/135, 67/00 - 67/24, G03F 1/00 - 1/92, 7/00 - 7/42

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE, Information Retrieval System of FIPS

C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	US 2013/292862 A1 (B9CREATIONS, LLC) 07.11.2013	1-12
A	US 5785918 A1 (SEAGATE TECHNOLOGY, INC.) 28.07.1998	1-12
A	WO 2014/126834 A2 (EIPI SYSTEMS, INC) 21.08.2014	1-12
A	US 6214276 B1 (CREO SRL) 10.04.2001	1-12

☐ последующие документы указаны в продолжении графы C.

☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

"A" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным

"E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее

"L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)

"O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.

"P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета

"T" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение

"X" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности

"Y" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста

"&" документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске
05 мая 2017 (05.05.2017)	11 мая 2017 (11.05.2017)

Наименование и адрес ISA/RU:
Федеральный институт промышленной собственности,
Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59,
ГСП-3, Россия, 125993
Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37

Уполномоченное лицо:
Мельников Д.В.
Телефон № 8 499 240 25 91