(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 025712 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.01.30

(21) Номер заявки
201300703

(22) Дата подачи заявки
2011.12.14

(51) Int. Cl. *E04C 5/01* (2006.01)

(54) СТАЛЬНОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ИЛИ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА, ИМЕЮЩЕЕ АНКЕРНЫЙ КОНЕЦ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ С ДВУМЯ ИЗОГНУТЫМИ СЕКЦИЯМИ

(31) **10195107.7**
(32) **2010.12.15**
(33) **EP**
(43) **2013.11.29**
(86) **PCT/EP2011/072747**
(87) **WO 2012/080326 2012.06.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
НВ БЕКАЭРТ СА (BE)

(72) Изобретатель:
Ламбрехтс Анн, Верваке Фредерик (BE)

(74) Представитель:
Облов Ю.В. (RU)

(56) EP-A2-1840291
DE-A1-4223804
US-A-4764488
EP-A-0582905
DE-A1-102008034250
EP-A-1790792

(57) Данное изобретение относится к стальному волокну, предназначенному для армирования бетона или цементного раствора. Стальное волокно содержит среднюю часть и анкерный конец на одном или обоих концах средней части. Средняя часть имеет главную ось. Анкерный конец отклоняется от главной оси средней части в отклоняющейся секции. Анкерный конец имеет n изогнутых секций, причем число n равно или больше 2. Когда стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на горизонтальную поверхность, вертикальные проекции на этой горизонтальной поверхности всех n изогнутых секций анкерного конца располагаются на одной стороне от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности главной оси средней части. Данное изобретение, кроме того, относится к бетонной конструкции, армированной стальными волокнами, выполненными согласно данному изобретению, и к использованию таких стальных волокон для несущих нагрузку конструкций из бетона.

025712 B1

025712 B1

Настоящее изобретение относится к стальным волокнам, предназначенным для армирования бетона или цементного раствора, снабженным анкерными концами, позволяющими обеспечить хорошую анкеровку, когда волокна внедрены в бетон или цементный раствор. Стальные волокна имеют анкерные концы, имеющие по меньшей мере две изогнутые секции. Стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению, обеспечивают хорошие рабочие характеристики в предельном состоянии для надежной эксплуатации (SLS) и в конечном предельном состоянии перед разрушением (ULS), когда они внедрены в бетон или цементный раствор.

Настоящее изобретение, кроме того, относится к бетонным конструкциям и конструкциям из цементного раствора, содержащим такие волокна.

Бетон представляет собой хрупкий материал, имеющий низкий предел прочности при растяжении и низкую способность к деформации без разрушения. Чтобы улучшить свойства бетона, такие как предел прочности при растяжении и способность к деформации без разрушения, был разработан бетон, армированный волокном, а более конкретно бетон, армированный металлическим волокном.

Что касается геометрической формы волокон, известно, что волокна, имеющие форму, отличную от прямолинейной формы, обеспечивают лучшую анкеровку волокна в бетоне или цементном растворе.

Кроме того, известно, что предпочтительными являются волокна, не имеющие тенденции к образованию шариков при их добавлении в бетон или цементный раствор или при смешивании с бетоном или цементным раствором.

Многочисленные примеры различных геометрических форм волокон известны в данной области техники. Имеются, к примеру, волокна, которые имеют волнообразные неровности, расположенные либо вдоль всей длины, либо вдоль части их длины. Примеры стальных волокон, снабженных волнообразными неровностями по всей длине, описаны в документе WO 84/02732. Кроме того, в данной области техники известны волокна, имеющие крюкообразные концы. Такие волокна, к примеру, описаны в патентном документе US 3942955.

Аналогично этому, имеются волокна, в которых профиль поперечного сечения изменяется вдоль его длины, такие как волокна, снабженные утолщенными и/или уплощенными секциями.

Пример стального волокна, снабженного утолщенными секциями, представляет собой стальное волокно с утолщениями в форме шляпки гвоздя на каждом из его концов, как описано в документе US 4883713.

В документе JP 6294017 описано уплощение стального волокна вдоль всей его длины. В документе G 9207598 на полезную модель описано уплощение только средней части стального волокна с крюкообразными концами. В документе US 4233364 описаны прямолинейные стальные волокна, снабженные концами, которые являются уплощенными и снабжены фланцем в плоскости, по существу перпендикулярной к уплощенным концам.

Стальные волокна с уплощенными крюкообразными концами известны из европейских документов EP 851957 и EP 1282751.

Известные в настоящее время волокна для армирования бетона, соответствующие уровню техники, предшествующему данному изобретению, хорошо известны в таких областях применения, как промышленные полы, торкрет-бетон, дорожное покрытие и т.д.

Однако недостаток известных в настоящее время волокон, соответствующих уровню техники, предшествующему данному изобретению, заключается в их сравнительно низких рабочих характеристиках в конечном предельном состоянии перед разрушением (ULS), когда используются низкие или средние дозировки волокон. Для более ответственных конструкционных применений, таких как балки и плиты перекрытий, используются высокие дозировки, составляющие, как правило, от 0,5 вес.% (40 кг/м^3) и выше, вплоть до 1,5 вес.% (120 кг/м^3), для обеспечения необходимых рабочих характеристик в состоянии ULS. Эти высокие дозировки не облегчают процесс смешивания и заливки бетона, армированного стальными волокнами.

Некоторые волокна, известные из уровня техники, не работают соответствующим образом в состоянии ULS, поскольку они разрушаются при величинах смещений, открывающих устье трещины (CMOD), более низких, чем требуется для состояния ULS. Другие волокна, такие как волокна с крюкообразными концами, не работают соответствующим образом в состоянии ULS, поскольку они предназначены для их выдергивания.

Задачей данного изобретения является создание стальных волокон для армирования бетона или цементного раствора, в которых отсутствуют недостатки, характерные для волокон известного уровня техники.

Другой задачей данного изобретения является создание стальных волокон, которые способны обеспечить величины смещения, открывающего устье трещины (CMOD), большие чем 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 мм или даже большие чем 3 мм, во время испытаний на изгиб в трех точках, выполняемым согласно европейскому стандарту EN 14651 (июнь 2005 г.).

Также задачей данного изобретения является создание стальных волокон, обеспечивающих хорошую анкеровку в бетоне или цементном растворе.

Еще одна задача данного изобретения заключается в создании стальных волокон, не имеющих тен-

денции к образованию шариков, когда их смешивают в бетоне или цементном растворе.

Кроме того, задача данного изобретения состоит в создании стальных волокон, которые могут с преимуществом использоваться для конструкционных применений, причем стальные волокна используются в низких или средних дозировках, как правило, 1 об.% стальных волокон или 0,5 об.% стальных волокон.

Задачей данного изобретения является создание стальных волокон, которые позволяют уменьшить или предотвратить распространение трещин в потрескавшемся бетоне, армированном этими волокнами, в зоне механических напряжений.

Согласно первому аспекту данного изобретения, предложено стальное волокно для армирования бетона или цементного раствора.

Стальное волокно содержит прямую среднюю часть и анкерный конец, расположенный на одном или обоих концах средней части.

Средняя часть имеет главную ось. Анкерный конец отклоняется от главной оси средней части в отклоняющейся секции.

Анкерный конец соединен со средней частью с помощью отклоняющейся секции.

Анкерный конец имеет n изогнутых секций, причем число n равно или больше 2. Когда стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции на этой горизонтальной поверхности всех n изогнутых секций анкерного конца располагаются на одной стороне от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности главной оси средней части.

Отклоняющаяся секция имеет радиус кривизны. Кроме того, каждая из изогнутых секций имеет радиус кривизны: первая изогнутая секция имеет первый радиус кривизны; вторая изогнутая секция имеет второй радиус кривизны, третья изогнутая секция (если она имеется) имеет третий радиус кривизны, n-я изогнутая секция (если она имеется), имеет n-й радиус кривизны.

Как указано выше, анкерный конец стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, имеет по меньшей мере n изогнутых секций, причем число n равно или больше 2. В конкретных вариантах осуществления данного изобретения анкерный конец стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, может содержать больше двух изогнутых секций. В принципе, нет ограничения относительно числа изогнутых секций анкерного конца стального волокна, выполненного согласно данному изобретению. Однако в наиболее предпочтительных вариантах осуществления данного изобретения имеются две изогнутые секции, три изогнутые секции или четыре изогнутые секции.

Поскольку отклоняющаяся секция может также рассматриваться как изогнутая секция, стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, имеет для каждого анкерного конца n+1 изогнутых секций: одну отклоняющуюся секцию и n изогнутых секций. Стальное волокно, имеющее два анкерных конца, содержит 2×(n+1) изогнутых секций.

Отклоняющаяся секция соединяет анкерный конец со средней частью стального волокна и обеспечивает, что анкерный конец отклоняется от главной оси средней части стального волокна. Под термином "отклоняющийся" имеется в виду поворачивающийся в сторону от прямой линии, т.е. поворачивающийся в сторону от главной оси средней части стального волокна.

Когда стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции на этой горизонтальной поверхности всех n изогнутых секций анкерного конца расположены с одной стороны от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности главной оси средней части, т.е. все n изогнутых секций анкерного конца расположены на одной стороне от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности средней части или на одной стороне от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности линии, являющейся продолжением главной оси средней части стального волокна.

Предпочтительно, чтобы когда стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, находится в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикальные проекции ни одной из n изогнутых секций анкерного конца не располагались на вертикальной проекции главной оси или на вертикальной проекции линии, являющейся продолжением вышеупомянутой главной оси.

Это означает, что только вертикальная проекция на этой горизонтальной поверхности отклоняющейся секции, по меньшей мере, частично расположена на вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности главной оси.

Под "устойчивым положением" имеется в виду положение, в котором стальное волокно находится, когда оно уложено на горизонтальную поверхность.

Радиус кривизны отклоняющейся секции и изогнутых секций предпочтительно находится в диапазоне от 0,1 до 5 мм, например от 0,5 до 3 мм, например 1, 1,2 или 2 мм.

Радиус кривизны отклоняющейся секции и различных изогнутых секций анкерного конца стального волокна может выбираться независимо друг от друга. Это означает, что радиус отклоняющейся секции, радиус первой изогнутой секции, радиус второй изогнутой секции и радиус каждой последующей изо-

гнутой секции (если она имеется) может быть одинаковым или может быть различным.

В примере стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, стальное волокно, имеет отклоняющуюся секцию, в которой анкерный конец отклоняется от главной оси средней части, и анкерный конец имеет две изогнутые секции: первую изогнутую секцию и вторую изогнутую секцию. Анкерный конец присоединен к одному концу средней части в отклоняющейся секции. Первая изогнутая секция соединена с отклоняющейся секцией, а вторая изогнутая секция соединена с первой изогнутой секцией. В первом примере первая изогнутая секция непосредственно присоединена к отклоняющейся секции, а вторая изогнутая секция непосредственно присоединена к первой изогнутой секции.

Альтернативный пример стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, содержит стальное волокно, имеющее отклоняющуюся секцию, в которой анкерный конец отклоняется от главной оси средней части, и анкерный конец имеет первую и вторую изогнутые секции. Анкерный конец присоединен к одному концу средней части в отклоняющейся секции. Первая изогнутая секция присоединена к отклоняющейся изогнутой секции с помощью первой прямой секции, а вторая изогнутая секция присоединена к первой изогнутой секции с помощью второй прямой секции.

Длина прямой секции между двумя последующими изогнутыми секциями предпочтительно находится в диапазоне от 0,1 до 5 мм, например от 0,5 до 2 мм.

Термин "последующие изогнутые секции" означает изогнутые секции, которые следуют друг за другом.

Длины различных прямых секций между двумя последующими изогнутыми секциями можно выбирать независимо друг от друга. Это означает, что различные прямые секции могут иметь одинаковую длину или разные длины.

Пример содержит стальное волокно, имеющее прямые секции, причем все прямые секции имеют длину 2 мм.

Альтернативный пример содержит стальное волокно, имеющее первую прямую секцию (т.е. прямую секцию, расположенную между отклоняющейся секцией и первой изогнутой секцией), имеющую длину 0,5 мм, вторую прямую секцию (т.е. секцию, расположенную между первой и второй изогнутыми секциями), имеющую длину 2 мм.

Стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, может быть снабжено одним анкерным концом, расположенным на одном конце средней части. Предпочтительно, чтобы стальное волокно было снабжено анкерным концом на обоих концах стального волокна. В случае, когда стальное волокно снабжено анкерным концом на обоих концах средней части, эти два анкерных конца могут быть одинаковыми или могут быть различными.

Для стального волокна, имеющего анкерный конец на обоих концах средней части, оба анкерных конца могут быть отогнуты в том же самом направлении от главной оси средней части стального волокна (симметричные волокна).

В альтернативном варианте один анкерный конец может быть отогнут (отклоняться) в одном направлении от главной оси средней части стального волокна, тогда как другой анкерный конец отогнут в противоположном направлении от главной оси средней части стального волокна (ассиметричные волокна).

Для стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, средняя часть и анкерный конец предпочтительно располагаются в одной плоскости или располагаются, по существу, в одной плоскости.

Другой анкерный конец, если он имеется, может быть расположен в той же плоскости или в другой плоскости.

Преимущество стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, заключается в том, что они не сгущаются и не слипаются, когда их смешивают с бетоном или цементным раствором. Это приводит в результате к равномерному распределению стальных волокон по всей массе бетона или цементного раствора.

Это отличается от стальных волокон, имеющих последующие изгибы на противоположных сторонах от главной оси средней части или имеющих последующие изгибы, один из которых расположен на главной оси средней части, которые имеют тенденцию к сгущению и слипанию во время смешивания. Сгущение и слипание стальных волокон приводит в результате к неоднородному распределению стальных волокон в массе бетона.

Стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению, работают особенно хорошо как в предельном состоянии обеспечения надежности эксплуатации (SLS) бетона или конструкции из цементного раствора, так и в конечном предельном состоянии (ULS), предшествующем разрушению, когда они используются в средней или малой дозировке, т.е. в дозировке, составляющей менее 1 об.% или менее 0,5 об.%, например 0,25 об.%.

В данной области техники известно, что увеличение количества волокон в бетоне положительно влияет на рабочие характеристики бетона, армированного волокном. Большое преимущество данного изобретения заключается в том, что хорошие рабочие характеристики в состоянии SLS и ULS обеспечиваются со средней или низкой дозировкой стальных волокон. Для данного изобретения свойства мате-

риала, используемые для оценки рабочих характеристик в состояниях ULS и SLS бетона, армированного стальным волокном, представляют собой величину остаточной изгибной прочности при растяжении, которая вычисляется на основании нагрузки при заранее заданном смещении, открывающем устье трещины (CMOD), или заранее заданном прогибе средней точки пролета (δ_R).

Величины остаточной изгибной прочности определяются с помощью испытания на изгиб в трех точках, выполняемого согласно европейскому стандарту EN 14651 (обсужденному выше в данном техническом описании).

Остаточная изгибная прочность $f_{R,1}$ определяется при $CMOD_1$ = 0,5 мм ($\delta_{R,1}$ = 0,46 мм), остаточная изгибная прочность $f_{R,2}$ определяется при $CMOD_2$ = 1,5 мм ($\delta_{R,2}$ = 1,32 мм), остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ определяется при $CMOD_3$ = 2,5 мм ($\delta_{R,3}$ = 2,17 мм), остаточная изгибная прочность $f_{R,4}$ определяется при $CMOD_4$ = 3,5 мм ($\delta_{R,4}$ = 3,02 мм).

Остаточная изгибная прочность $f_{R,1}$ является важнейшим требованием для конструкции, рассчитанной на состояние SLS.

Остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ является важнейшим требованием для конструкции, рассчитанной на состояние ULS.

Для стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, в отличие от стальных волокон, соответствующих уровню техники, предшествующему данному изобретению, отношение между остаточной изгибной прочностью $f_{R,3}$ и остаточной изгибной прочностью $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) является высоким, даже когда используются низкие или средние дозировки стальных волокон, как, например, дозировки, составляющие менее 1 об.%, или дозировки менее 0,5 вес.%, например 0,25 вес.%.

Для волокон, выполненных согласно данному изобретению, отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ составляет предпочтительно больше 1, и более предпочтительно больше 1,05 или больше 1,15, например 1,2 или 1,2, когда используются дозировки менее 1 вес.% или дозировки менее 0,5 вес.%, например 0,25 вес.%.

Для бетона, армированного стальными волокнами, выполненными согласно данному изобретению, с дозировкой 0,5 вес.% остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ при использовании бетона марки C35/45 составляет более 3,5 МПа, предпочтительно больше чем 5 МПа, более предпочтительно больше чем 6 МПа, как, например, 7 МПа.

Волокна, известные в уровне техники, предшествующем данному изобретению, как, например, стальные волокна, имеющие конусообразные концы (в форме шляпки гвоздя), изготовленные из низкоуглеродистой стали, действуют хорошо для ограничения ширины или роста трещин вплоть до приблизительно 0,5 мм (в состоянии SLS). Однако эти волокна имеют низкие рабочие характеристики в состоянии ULS. Стальные волокна этого типа разрушаются при величинах смещения, открывающего устье трещины, более низких, чем требуется для состояния ULS.

Отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ составляет менее 1 для средних дозировок волокон в бетоне обычной прочности, например в бетоне марки C35/45.

Другие волокна, известные из уровня техники, предшествующего данному изобретению, представляют собой волокна с крюкообразными концами, как, например, описанные в документе EP 851957, предназначенные для вытаскивания.

Кроме того, для этого типа волокон отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ составляет менее 1 для средних дозировок волокон в бетоне обычной прочности.

Максимальная нагрузочная способность F_m - прочность при растяжении R_m.

Стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, т.е. средняя часть стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, предпочтительно имеет высокую максимальную нагрузочную способность F_m. Максимальная нагрузочная способность F_m представляет собой наибольшую нагрузку, которую выдерживает стальное волокно в процессе испытания на растяжение. Максимальная нагрузочная способность F_m средней части непосредственно связана с пределом прочности при растяжении R_m средней части, поскольку прочность при растяжении R_m представляет собой максимальную нагрузочную способность F_m, деленную на площадь первоначального поперечного сечения стального волокна.

Для стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, прочность при растяжении средней части стального волокна предпочтительно составляет более 1000 МПа, а более конкретно больше 1400 МПа, например больше 1500 МПа, например больше 1750 МПа, например больше 2000 МПа, например больше 2500 МПа.

Высокая прочность при растяжении стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, позволяет стальным волокнам выдерживать высокие нагрузки.

Более высокая прочность при растяжении, таким образом, непосредственно отражается в более низкой дозировке волокон. Однако использование стальных волокон, имеющих высокую прочность при растяжении, имеет смысл только в том случае, если стальные волокна имеют хорошую анкеровку в бетоне.

Удлинение при максимальной нагрузке.

Согласно предпочтительному варианту выполнения стального волокна согласно данному изобрете-

нию, стальное волокно, а более конкретно средняя часть стального волокна, выполненного согласно данному изобретению, имеет удлинение A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющее по меньшей мере 2,5%.

Согласно конкретным вариантам выполнения данного изобретения, средняя часть стального волокна имеет величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую более 2,75%, более 3,0%, более 3,25%, более 3,5%, более 3,75%, более 4,0%, более 4,25%, более 4,5%, более 4,75%, более 5,0%, более 5,25%, более 5,5%, более 5,75% или даже более 6,0%.

В контексте данного изобретения удлинение A_{g+e} при максимальной нагрузке, а не удлинение A_t при разрыве, используется, чтобы охарактеризовать удлинение стального волокна, более конкретно средней части стального волокна.

Причина заключается в том, что после того, как была достигнута максимальная нагрузка, начинается сжатие имеющейся поверхности стального волокна, и более высокие нагрузки не воспринимаются.

Удлинение A_{g+e} при максимальной нагрузке представляет собой сумму пластического удлинения A_g при максимальной нагрузке и упругого удлинения.

Удлинение при максимальной нагрузке не содержит конструктивного удлинения A_s, которое может быть обусловлено волнообразным характером средней части стального волокна (если он имеется). В случае волнообразного стального волокна стальное волокно сначала выпрямляют, перед тем как измерять величину A_{g+e}.

Высокая степень удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке может быть получена путем применения специальной обработки, снимающей механические напряжения, такой как термообработка, в отношении стальных проволок, из которых будут изготавливаться стальные волокна. В этом случае, по меньшей мере, средняя часть стального волокна находится в состоянии снятых напряжений.

Стальные волокна, имеющие высокую пластичность или большое удлинение при максимальной нагрузке, являются предпочтительными, эти волокна не будут разрушаться при величине CMOD, составляющей более 0,5, более 1,5, более 2,5 или более 3,5 мм, при испытании на изгиб в трех точках, выполненном согласно стандарту EN 14651.

Усилие анкеровки.

Предпочтительно, чтобы стальное волокно, выполненное согласно данному изобретению, имело высокую степень анкеровки в бетоне или цементном растворе.

Благодаря обеспечению средней части стального волокна анкерными концами, выполненными согласно данному изобретению, анкеровка стального волокна в бетоне или цементном растворе значительно улучшается.

Высокая степень анкеровки будет предотвращать выдергивание волокон.

Высокая степень анкеровки в сочетании с высокой величиной удлинения при максимальной нагрузке будет предотвращать выдергивание волокон, будет предотвращать отказ волокон, и будет предотвращать хрупкое разрушение бетона при растяжении.

Высокая степень фиксации в сочетании с высокой прочностью при растяжении позволяет обеспечить лучшее использование прочности при растяжении после образования трещин.

Стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению, имеют, например, прочность при растяжении R_m, составляющую более 1000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 1,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 1000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 2,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 1000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 4%.

В предпочтительных вариантах выполнения данного изобретения стальные волокна имеют прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 1500 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 1,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 1500 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 2,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 1500 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 4%.

В других предпочтительных вариантах выполнения данного изобретения стальные волокна имеют прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 2000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 1,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 2000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 2,5%, прочность при растяжении R_m, составляющую по меньшей мере 2000 МПа, и величину удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 4%.

Волокна, имеющие высокую прочность при растяжении R_m, могут выдерживать большие нагрузки. Волокна, отличающиеся большой величиной удлинения A_{g+e} при максимальной нагрузке, не будут разрушаться при величинах CMOD, составляющих более 0,5 мм, более 1,5 мм, более 2,5 мм или более 3 мм при испытаниях на изгиб в трех точках, выполненных согласно стандарту EN 14651.

Средняя часть стального волокна может быть прямолинейной или прямоугольной, или может быть волнообразной или пилообразной. Предпочтительно, чтобы средняя часть стального волокна была пря-

молинейной или прямоугольной. В случае если средняя часть является волнообразной или пилообразной, главная ось средней части определяется как линия, пересекающая волнообразную или пилообразную среднюю часть таким образом, чтобы суммарная площадь верхних волн или пилообразных выступов, расположенных выше этой линии, была такая же, как суммарная площадь волн или пилообразных выступов, расположенных ниже этой линии.

Стальные волокна, более конкретно средняя часть, могут иметь любое поперечное сечение, такое как круглое поперечное сечение, по существу круглое поперечное сечение, прямоугольное поперечное сечение, по существу прямоугольное поперечное сечение, овальное поперечное сечение, по существу овальное поперечное сечение, и т.д.

Стальные волокна, более конкретно средняя часть стальных волокон, как правило, имеют диаметр D, находящийся в диапазоне от 0,10 до 1,20 мм, например в диапазоне от 0,5 до 1 мм, более конкретно 0,7 или 0,9 мм. В случае если поперечное сечение стального волокна и, в частности, средней части стального волокна не является круглым, этот диаметр равен диаметру окружности с той же самой площадью поверхности, что и поперечное сечение средней части стального волокна.

Стальные волокна, более конкретно средняя часть стальных волокон, как правило, имеет отношение длины к диаметру L/D, находящееся в диапазоне от 40 до 100. Длина стальных волокон составляет, например, 50, 55, 60 или 65 мм.

Под длиной стального волокна имеется в виду общая длина стального волокна, т.е. сумма длины средней части и длины анкерного конца или анкерных концов.

Средняя часть имеет предпочтительно длину более 25 мм, например более 30 мм, более 40 мм или более 45 мм.

Стальное волокно или часть стального волокна может быть уплощенной или может быть снабжено одной или несколькими уплощенными секциями. К примеру, средняя часть, часть средней части, анкерный конец или часть анкерного конца может быть уплощенной или может быть снабжена одной или несколькими уплощенными секциями. Если средняя часть снабжена одной или несколькими уплощенными секциями, уплощенная секция или секции предпочтительно расположена/расположены вблизи анкерного конца или анкерных концов, но не непосредственно примыкающими к анкерному концу или анкерным концам.

Согласно второму аспекту данного изобретения, предложена конструкция армированного бетона, содержащая бетонную конструкцию, армированную стальными волокнами, выполненными согласно данному изобретению. Армированная бетонная конструкция может быть усилена или не усилена традиционной арматурой (например, предварительно напряженной или натягиваемой на бетон арматурой), дополнительно к стальным волокнам, выполненным согласно данному изобретению.

Для армированной бетонной конструкции, усиленной стальными волокнами, выполненными согласно данному изобретению, отношение остаточной изгибной прочности $f_{R,3}$ к остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$) предпочтительно больше 1, а более предпочтительно больше 1,2, например 1,3. Это отношение достигается, когда используются низкие дозировки стальных волокон, например дозировка менее 1 вес.%, или дозировка менее 0,5 вес.%, или даже с дозировкой 0,25 вес.%.

Остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ армированной бетонной конструкции, использующей стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению, предпочтительно больше 3,5 МПа, более предпочтительно остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ больше 4,5 МПа, больше 5 МПа или даже больше 6 МПа.

Бетонная конструкция, армированная волокнами, выполненными согласно данному изобретению, имеет среднюю остаточную прочность после образования трещин в состоянии ULS, превышающую 3 МПа, например более 4 МПа, например более 5 МПа, 6 МПа, 7 МПа, 7,5 МПа. Благодаря использованию стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, бетонные конструкции, имеющие остаточную прочность после образования трещин в состоянии ULS, превышающую 3 МПа или превышающую 4 МПа, могут быть получены с помощью бетона марки C35/45 и использования дозировок волокон, составляющих менее 1 вес.% или даже менее 0,5 вес.%.

Согласно данному изобретению, предпочтительные армированные бетонные конструкции имеют среднюю остаточную прочность после образования трещин в состоянии ULS, превышающую 5 МПа, при использовании бетона марки C35/45 и использовании дозировок волокон менее 1 вес.% или даже менее 0,5 вес.%.

Важно отметить, что армированные бетонные конструкции, имеющие среднюю остаточную прочность после образования трещин в состоянии ULS, превышающую 3 МПа или 5 МПа, существуют. Однако эти армированные бетонные конструкции, известные в данной области техники, используют высокие дозировки стальных волокон (более 0,5 вес.% или более 1 вес.%) в бетоне обычной прочности или высокопрочном бетоне, или используют средние дозировки высокопрочных волокон в высокопрочном бетоне.

Согласно третьему аспекту данного изобретения, предложено использование стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, для несущих нагрузку конструкций из бетона.

Изобретение поясняется чертежами, на которых представлено следующее:

фиг. 1 - испытание на растяжение (испытание для определения зависимости величины деформации от нагрузки) стального волокна;

фиг. 2 - испытание на изгиб в трех точках (получение кривой зависимости смещения, открывающего устье трещины, от нагрузки, или кривой зависимости величины отклонения от нагрузки);

фиг. 3 - кривая зависимости между нагрузкой и величиной смещения, открывающего устье трещины;

фиг. 4-7 - различные стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению;

фиг. 8, 9 - ряд различных стальных волокон, снабженных анкерными концами, которые не соответствуют требованиям данного изобретения;

фиг. 10a-10e - дополнительные варианты реализации стальных волокон согласно данному изобретению и некоторые стальные волокна, соответствующие известному уровню техники.

Данное изобретение описано в отношении конкретных вариантов выполнения данного изобретения и со ссылкой на конкретные чертежи, однако данное изобретение не ограничено этими вариантами и чертежами, а определяется только формулой изобретения. Описанные чертежи являются лишь схематичными и не ограничивающими рамки объема изобретения. На чертежах размер некоторых элементов может быть увеличен и выполнен не в масштабе в целях иллюстрации. Размеры и относительные размеры не соответствуют фактическим размерам, применяемым для практического осуществления данного изобретения.

Перечисленные ниже термины приведены исключительно для того, чтобы способствовать пониманию сути изобретения.

Максимальная нагрузочная способность (F_m) - наибольшая нагрузка, которую выдерживает стальное волокно в процессе испытания на растяжение.

Удлинение (%) при максимальной нагрузке - увеличение длины образца стального волокна при максимальной нагрузке, выраженное в виде процентов от первоначальной длины образца.

Удлинение при разрыве (%) - увеличение длины испытываемого образца в момент разрушения, выраженное в виде процентов от первоначальной длины образца.

Прочность при растяжении - механическое напряжение, соответствующее максимальной нагрузке.

Напряжение - усилие, деленное на площадь первоначального поперечного сечения стального волокна.

Дозировка - количество волокон, добавленных в объем бетона (выраженное в кг/м^3 или в объемных процентах (1 об.% соответствует 78,5 кг/м^3, 0,5 об.% соответствуют 40 кг/м^3).

Бетон обычной прочности - бетон, имеющий прочность, меньшую или равную прочности категорий бетона марки C50/60, определенных в стандарте EN206.

Высокопрочный бетон - бетон, имеющий прочность выше, чем прочность бетона категорий бетона марки C50/60, определенных в стандарте EN206.

Для иллюстрации данного изобретения ряд различных стальных волокон, как волокон, соответствующих уровню техники, предшествующему данному изобретению, так и волокон, выполненных согласно данному изобретению, были подвергнуты двум различным испытаниям:

испытание на растяжение (испытание на деформацию при нагрузке для получения зависимости деформации от нагрузки);

испытание на изгиб в трех точках (получение кривой зависимости смещения, открывающего устье трещины, от нагрузки или кривой зависимости отклонения от нагрузки).

Испытание на растяжение выполняли на стальном волокне, более конкретно на средней части стального волокна. В альтернативном варианте испытанию на растяжение подвергали проволоку, используемую для изготовления стального волокна.

Испытание на растяжение используется для определения максимальной нагрузочной способности стального волокна и для определения величины удлинения при максимальной нагрузке.

Испытание на изгиб в трех точках выполняется на снабженной прорезями армированной балке, как указано в стандарте EN 14651.

Это испытание используется для определения величин остаточной изгибной прочности.

Эти испытания проиллюстрированы на фиг. 1 и фиг. 2 соответственно.

На фиг. 1 показана испытательная установка 60 для проведения испытания на растяжение (испытание на зависимость деформации от нагрузки) стального волокна. С помощью испытательной установки 60 стальные волокна испытываются для определения максимальной нагрузочной способности (разрывающей нагрузки), величины прочности на разрыв и общего удлинения при максимальной нагрузке.

Анкерные концы (например, удлиненные или крюкообразные концы) стального волокна, подлежащего испытанию, вначале отрезают. Оставшуюся среднюю часть 14 стального волокна закрепляют между двумя парами зажимов 62, 63. С помощью зажимов 62, 63 возрастающее усилие растяжения F прикладывается к средней части 14 стального волокна. Смещение или удлинение, полученное в результате приложения этого возрастающего усилия F, измеряется путем измерения смещения зажимов 64, 65 тензометра. L1 представляет собой длину средней части стального волокна и составляет, например, 50 мм, 60 мм или 70 мм. L2 - это расстояние между зажимами, составляющее, например, 20 или 25 мм. L3 - это

опорная длина тензометра, составляющая, как минимум, 10 мм, например 12 мм, например 15 мм. Для улучшенного захвата тензометра со средней частью 14 стального волокна средняя часть стального волокна может иметь покрытие или может быть покрыта тонкой лентой, чтобы избежать проскальзывания тензометра по стальному волокну. С помощью этого испытания строится кривая зависимости удлинения от нагрузки. Процент общего удлинения при максимальной нагрузке рассчитывают с помощью следующей формулы:

$$A_{g+e} = \frac{\text{удлинение при максимальной нагрузке}}{\text{опорная длина } L_3 \text{ тетензометра}} \times 100$$

С помощью установки 60, изображенной на фиг. 1, ряд различных проволок испытывается для определения максимальной нагрузочной способности (разрывающей нагрузки), прочности на растяжение и общего удлинения при максимальной нагрузке.

Выполняли пять испытаний в расчете на каждый образец. В табл. 1 приведены параметры проволок, которые были испытаны.

Таблица 1

Тип проволоки	Содержание углерода	Диаметр (мм)	F_m (Н)	R_m (МПа)	A_{g+e} (%)
1	Низкое	1,0	911	1160	1,86
2	Низкое	0,9	751	1181	2,16
3	Высокое	0,89	1442	2318	5,06
4	Среднее	0,75	533	1206	2,20
5	Среднее	0,90	944	1423	1,84

Низкоуглеродистая сталь определяется как сталь, имеющая содержание углерода максимум 0,15%, например 0,12%; среднеуглеродистая сталь определяется как сталь с содержанием углерода в диапазоне от 0,15 до 0,44%, например 0,18%, а высокоуглеродистая сталь определяется как сталь, имеющая содержание углерода более 0,44%, например 0,55 или 0,6%.

На фиг. 2 показана экспериментальная установка 200, предназначенная для испытания на изгиб в трех точках. Испытание на изгиб в трех точках выполняли в течение 28 суток согласно европейскому стандарту EN 14651 с использованием призматического образца 210 размером 150×150×600 мм. В средней точке пролета образца 210 была пропилена одна прорезь 512 глубиной 25 мм с помощью алмазной пилы для локализации трещины. Испытательная установка содержит два опорных ролика 214, 216 и один нагрузочный ролик 218. Установка может работать в регулируемом режиме, т.е. обеспечивать постоянную скорость перемещения (CMOD или отклонения). Испытания проводили со скоростью перемещения, соответствующей стандарту EN 14651. Регистрировали кривую зависимости смещения, открывающего устье трещины, от нагрузки или кривую зависимости отклонения от нагрузки.

Пример кривой 302 зависимости смещения, открывающего устье трещины, от нагрузки приведен на фиг. 3.

Остаточная изгибная прочность $f_{R,i}$ (i = 1, 2, 3 или 4) оценивается согласно стандарту EN 14651 и может быть вычислена с помощью следующей формулы:

$$f_{R,i} = \frac{3F_{R,i}L}{2bh_{sp}^2} \quad (\text{Н/мм}^2)$$

где $F_{R,i}$ = нагрузка, соответствующая CMOD = $CMOD_i$ или $\delta = \delta_{R,i}$ (i=1,2,3,4);

b = ширина образца (мм);

h_{sp} = расстояние между кончиком прорези и верхом образца (мм);

L = длина пролета образца (мм).

Некоторые варианты реализации стальных волокон согласно данному изобретению описаны ниже.

Первое стальное волокно 400 показано на фиг. 4. Стальное волокно 400 содержит среднюю часть 402, имеющую главную ось 404. Стальное волокно 400 имеет два анкерных конца 406, 408, по одному на каждом конце средней части 402. Анкерные концы 406, 408 отклоняются от главной оси 404 средней части 402 в отклоняющейся секции 410. Анкерные концы 406, 408 отклоняются от главной оси 404 в первой изогнутой секции 410. В варианте осуществления данного изобретения, показанном на фиг. 4, анкерные концы отклоняются в одном и том же направлении от главной оси 404 средней части 402.

Однако для специалиста в данной области техники ясно, что могут рассматриваться варианты выполнения данного изобретения, в которых анкерные концы отклоняются в разных направления.

Оба анкерных конца 406, 408 имеют две изогнутые секции: первую изогнутую секцию 420 и вторую изогнутую секцию 422. Первая изогнутая секция 420 соединена с отклоняющейся секцией 410 с помощью первой прямой секции 412; вторая изогнутая секция 422 соединена с первой изогнутой секцией 422 с помощью второй прямой секции 414. Анкерные концы 406, 408, кроме того, содержат третью прямую секцию 416, соединенную со второй изогнутой секцией 422. Вторая прямая секция 414 наклонена по направлению к главной оси 404 средней части 402 в изогнутой секции 420; третья прямая секция 416 отклоняется от главной оси 404 средней части 402 в изогнутой секции 422.

Когда стальное волокно 400, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной плоскости,

вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции первой изогнутой секции 420 и второй изогнутой секции 422 расположены с одной стороны от вертикальной проекции на этой горизонтальной поверхности главной оси 404 средней части 402 стального волокна 400.

Ни одна из вертикальных проекций первой изогнутой секции 420 и второй изогнутой секции 422 не расположена на вертикальной проекции главной оси 404 средней части 402 стального волокна 400.

Второй вариант реализации стального волокна 500 согласно данному изобретению показан на фиг. 5. Стальное волокно 500 содержит среднюю часть 502, имеющую главную ось 504. Стальное волокно 500 имеет два анкерных конца 506, 508, по одному на каждом конце средней части 502. Оба анкерных конца 506, 508 отклоняются от главной оси 504 в отклоняющейся секции 510. В варианте выполнения данного изобретения, показанном на фиг. 5, оба анкерных конца отклоняются в противоположных направлениях от главной оси 504 средней части 502.

Оба фиксирующих конца 506, 508 содержат три изогнутые секции: первую изогнутую секцию 520, вторую изогнутую секцию 522 и третью изогнутую секцию 524.

Первая изогнутая секция 520 соединена с отклоняющейся секцией 510 с помощью первой прямой секции 512; вторая изогнутая секция 522 соединена с первой изогнутой секцией 520 с помощью второй прямой секции 514; третья изогнутая секция 524 соединена со второй изогнутой секцией 522 с помощью третьей прямой секции 516. Анкерные концы 506, 508, кроме того, содержат четвертую прямую секцию 518, присоединенную к третьей изогнутой секции 524.

Вторая прямая секция 514, третья прямая секция 516 и четвертая прямая секция 518 отклоняются от главной оси 504 средней части 502 соответственно в первой изогнутой секции 520, второй изогнутой секции 522 и третьей изогнутой секции 524.

Когда стальное волокно 500, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции первой изогнутой секции 520, второй изогнутой секции 522 и третьей изогнутой секции 524 располагаются на одной стороне от вертикальной проекции на эту горизонтальную поверхность главной оси 504 средней части 502 стального волокна 500.

Ни одна из вертикальных проекций первой изогнутой секции 520, второй изогнутой секции 522 или третьей изогнутой секции не расположена на вертикальной проекции главной оси 504 средней части 502 стальных волокон 500.

Третий вариант реализации стального волокна 600 согласно данному изобретению показан на фиг. 6. Стальное волокно 600 содержит среднюю часть 602, имеющую главную ось 604. Стальное волокно 600 имеет два анкерных конца 606, 608, по одному на каждом конце средней части 602. Оба анкерных конца 606, 608 отклоняются от главной оси 604 в отклоняющейся секции 610.

В варианте выполнения данного изобретения, показанном на фиг. 6, оба анкерных конца отклоняются в противоположных направлениях от главной оси 604 средней части 602.

Оба анкерных конца 606, 608 имеют две изогнутые секции: первую изогнутую секцию 620 и вторую изогнутую секцию 622. Первая изогнутая секция 620 соединена с отклоняющейся секцией 610 с помощью первой прямой секции 612; вторая изогнутая секция 622 соединена с первой изогнутой секцией 620 с помощью второй прямой секции 614. Анкерные концы 606, 608, кроме того, содержат третью прямую секцию 616, соединенную со второй изогнутой секцией 622.

Вторая прямая секция 614 ориентирована параллельно или по существу параллельно главной оси 604 средней части 602. Третья прямая секция 624 отклоняется от главной оси 604 средней части 602 в изогнутой секции 622.

Когда стальное волокно 600, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции первой изогнутой секции 620 и второй изогнутой секции 622 располагаются на одной стороне от вертикальной проекции на эту горизонтальную поверхность главной оси 604 средней части 602 стального волокна 600.

Ни одна из вертикальных проекций первой изогнутой секции 620 или второй изогнутой секции 622 не расположена на вертикальной проекции главной оси 604 средней части 602 стальных волокон 600.

На фиг. 7 показан еще один вариант выполнения стального волокна 700 согласно данному изобретению. Стальное волокно 700 имеет два анкерных конца 706, 708, по одному на каждом конце средней части 702.

Оба анкерных конца отклоняются от главной оси 704 в отклоняющейся секции 710.

Оба анкерных конца 706, 708 содержат две изогнутые секции: первую изогнутую секцию 712 и вторую изогнутую секцию 714. Первая изогнутая секция 712 непосредственно присоединена к отклоняющейся секции 710; вторая изогнутая секция 714 непосредственно присоединена к первой изогнутой секции 712.

Когда стальное волокно 700, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции на эту горизонтальную поверхность первой изогнутой секции 712 и второй изогнутой секции 714 располагаются на одной стороне от вертикальной проекции на эту горизонтальную поверхность главной оси 704 средней части 704 стального волокна 700.

На фиг. 8 и фиг. 9 показаны два варианта реализации стальных волокон, которые не соответствуют требованиям данного изобретения.

На фиг. 8 показано стальное волокно 800, содержащее среднюю часть 802, имеющую главную ось 804. Стальное волокно 800 имеет два анкерных конца 806, 808, по одному на каждом конце средней части 802. Оба анкерных конца присоединены к средней части 802 отклоняющейся секцией 810. Оба анкерных конца 806, 808 содержат 3 прямые секции: первую прямую секцию 812, вторую прямую секцию 814 и третью прямую секцию 816. Анкерные концы 806, 808 содержат две изогнутые секции: первую изогнутую секцию 820 и вторую изогнутую секцию 822.

Когда стальное волокно 800, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, вертикально проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальные проекции на эту горизонтальную поверхность первой изогнутой секции 820 и второй изогнутой секции 822 располагаются на противоположных сторонах от вертикальной проекции главной оси 804 средней части 802 стального волокна 800.

Недостаток этого типа стальных волокон заключается в том, что эти волокна имеют тенденцию к сгущению и слипанию во время смешивания.

В результате этого стальные волокна неравномерно распределяются в бетоне или цементном растворе.

На фиг. 9 показано стальное волокно 900, содержащее среднюю часть 902, имеющую главную ось 904. Стальное волокно имеет два анкерных конца 906, 908, по одному на каждом конце средней части 902. Оба анкерных конца 906, 908 присоединены к средней части 902 с помощью отклоняющейся секции 910. Оба анкерных конца 906, 908 содержат две изогнутые секции: первую изогнутую секцию 912 и вторую изогнутую секцию 914. Первая изогнутая секция 912 непосредственно присоединена к отклоняющейся секции 910; вторая изогнутая секция 914 непосредственно присоединена к первой изогнутой секции 912.

Когда стальное волокно 900, находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, проецируется на эту горизонтальную поверхность, вертикальная проекция на эту горизонтальную поверхность первой изогнутой секции располагается на одной стороне от вертикальной проекции главной оси 904 средней части 902 стального волокна 900. Вертикальная проекция на эту горизонтальную поверхность второй изогнутой секции 914 располагается на вертикальной проекции главной оси 904 средней части 902 стального волокна 900.

Недостаток этого типа стальных волокон заключается в том, что эти стальные волокна имеют тенденцию к сгущению и слипанию во время смешивания. Стальные волокна закручиваются, и образуются шарики во время смешивания.

В результате этого стальные волокна не равномерно распределяются в бетоне или цементном растворе.

С помощью испытательной установки 200, изображенной на фиг. 2, были испытаны рабочие характеристики ряда различных стальных волокон (от FIB1 до FIB5) в бетоне. Для испытания стальные волокна были внедрены в бетон марки C35/45. Время отверждения составляло 28 суток.

Обзор стальных волокон, которые были испытаны, приведен в табл. 2. Результаты испытаний стальных волокон (FIB1 и FIB5), соответствующих уровню техники, предшествующему данному изобретению, приведены в табл. 3. Результаты испытаний стальных волокон (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненных согласно данному изобретению, приведены в табл. 4.

Стальные волокна определяются длиной стального волокна, типом проволоки, используемой для изготовления стального волокна, диаметром стального волокна (более конкретно диаметром средней части стального волокна), числом прямых секций анкерного конца, величиной включенного угла между главной осью средней части и главной осью первой прямой секции, ориентацией второй прямой секции по направлению к средней части, величиной включенного угла между главной осью второй прямой секции и главной осью третьей прямой секции, ориентацией четвертой прямой секции по направлению к средней части, величиной включенного угла между главной осью четвертой прямой секции и главной осью пятой прямой секции.

Геометрическая форма различных волокон показана на фиг. 10a-10e. Все испытанные волокна 1000 имеют анкерные концы 1002 на обоих концах средних частей 1004.

FIB1 и FIB2 представляют собой волокна, соответствующие уровню техники, предшествующему данному изобретению. FIB1 представляет собой низкоуглеродистое стальное волокно, имеющее анкерные концы с двумя прямыми секциями и одной изогнутой секцией (фиг. 10a). FIB5 представляет собой волокно, имеющее на обоих концах анкерный конец в форме шляпки гвоздя (фиг. 10e).

FIB2, FIB3 и FIB4 представляют собой волокна, выполненные согласно данному изобретению. Волокно FIB2 имеет анкерные концы с 2-мя изогнутыми секциями и 3-мя прямыми секциями (фиг. 10b). Волокно FIB3 имеет анкерные концы с 3-мя изогнутыми секциями и 4-мя прямыми секциями (фиг. 10c). Волокно FIB4 имеет анкерные концы с 4-мя изогнутыми секциями и 5-ю прямыми секциями (фиг. 10d).

Две прямые секции с общей вершиной образуют два угла. Сумма этих двух углов равна 360°. Для цели данного изобретения наименьший из этих двух углов, образованный двумя прямыми секциями с

общей вершиной, называют "включенным углом".

Это означает, что включенный угол между главной осью средней части и главной осью первой прямой секции определяется как угол, образованный главной осью средней части и главной осью первой прямой секции. Аналогично этому, включенный угол между главной осью второй прямой секции и главной осью третьей прямой секции образован главной осью второй прямой секции и главной осью третьей прямой секции.

Стальное волокно 1000, показанное на фиг. 10a, содержит среднюю часть 1004 и анкерный конец 1002 на обоих концах средней части 1004. Средняя часть 1004 имеет главную ось 1003. Каждый из анкерных концов 1002 отклоняется от главной оси 1003 средней части 1004 в отклоняющейся секции 1005. Каждый из анкерных концов 1002 содержит первую прямую секцию 1006, первую изогнутую секцию 1007 и вторую прямую секцию 1008. Включенный угол между главной осью 1003 средней части 1004 и главной осью первой прямой секции 1006 обозначен символом α.

Вторая прямая секция 1008 является параллельной или по существу параллельной относительно главной оси 1003 средней части 1004.

Стальное волокно 1000, показанное на фиг. 10b, содержит среднюю часть 1004 и анкерный конец 1002 на обоих концах средней части 1004. Средняя часть 1004 имеет главную ось 1003. Каждый из анкерных концов 1002 отклоняется от главной оси 1003 средней части 1004 в отклоняющейся секции 1005. Каждый из анкерных концов 1002 содержит первую прямую секцию 1006, первую изогнутую секцию 1007, вторую прямую секцию 1008, вторую изогнутую секцию 1009 и третью прямую секцию 1010. Включенный угол между главной осью 1003 средней части 1004 и главной осью первой прямой секции 1006 обозначен символом α. Включенный угол между главной осью второй прямой секции 1008 и главной осью третьей прямой секции 1010 обозначен символом β.

Вторая прямая секция 1008 расположена параллельно или по существу параллельно относительно главной оси 1003 средней части 1004.

Стальное волокно 1000, показанное на фиг. 10c, содержит среднюю часть 1004 и анкерный конец 1002 на обоих концах средней части 1004. Средняя часть 1004 имеет главную ось 1003. Каждый из анкерных концов 1002 отклоняется от главной оси 1003 средней части 1004 в отклоняющейся секции 1005. Каждый из анкерных концов 1002 содержит первую прямую секцию 1006, первую изогнутую секцию 1007, вторую прямую секцию 1008, вторую изогнутую секцию 1009, третью прямую секцию 1010, третью изогнутую секцию 1011 и четвертую прямую секцию 1012. Включенный угол между главной осью 1003 средней части 1004 и главной осью первой прямой секции 1006 обозначен символом α. Включенный угол между главной осью второй прямой секции 1008 и главной осью третьей прямой секции 1010 обозначен символом β.

Вторая прямая секция 1008 и четвертая изогнутая секция расположены параллельно или по существу параллельно относительно главной оси 1003 средней части 1004.

Стальное волокно 1000, показанное на фиг. 10d, содержит среднюю часть 1004 и анкерный конец 1002 на обоих концах средней части 1004. Средняя часть 1004 имеет главную ось 1003. Каждый из анкерных концов 1002 отклоняется от главной оси 1003 средней части 1004 в отклоняющейся секции 1005. Каждый из анкерных концов 1002 содержит первую прямую секцию 1006, первую изогнутую секцию 1007, вторую прямую секцию 1008, вторую изогнутую секцию 1009, третью прямую секцию 1010, третью изогнутую секцию 1011, четвертую прямую секцию 1012, четвертую изогнутую секцию 1013 и пятую прямую секцию 1014. Включенный угол между главной осью 1003 средней части 1004 и главной осью первой прямой секции 1006 обозначен символом α. Включенный угол между главной осью второй прямой секции 1008 и главной осью третьей прямой секции 1010 обозначен символом β. Включенный угол между главной осью четвертой прямой секции 1012 и главной осью пятой прямой секции 1014 обозначен символом γ.

Вторая прямая секция 1008 и четвертая изогнутая секция 1012 расположены параллельно или по существу параллельно относительно главной оси 1003 средней части 1004.

Волокно, показанное на фиг. 10e, содержит среднюю часть 1004, снабженную на обоих концах средней части 1004 анкерными концами 1002. Эти анкерные концы 1002 имеют форму шляпки гвоздя.

Таблица 2

Тип волокна	Длина (мм)	Тип проволоки	Диаметр (мм)	Число прямых секций	A (градусов)	2-я прямая секция параллельна главной оси средней части (да/нет)	β (градусов)	4-я прямая секция параллельна главной оси средней части (да/нет)	γ (градусов)	Фиг.
FIB1	60	2	0,90	2	140	Да	/	/	/	Фиг. 10a
FIB2	60	3	0,89	3	140	Да	140	/	/	Фиг. 10b
FIB3	60	3	0,89	4	140	Да	140	Да	/	Фиг. 10c
FIB4	60	3	0,89	5	140	Да	140	Да	140	Фиг. 10d
FIB5	54	1	1,00	/	/	/	/	/	/	Фиг. 10e

α - включенный угол между главной осью средней части и главной осью 1-й прямой секции;

β - включенный угол между главной осью 2-й прямой секции section и главной осью 3-й прямой секции;

γ - включенный угол между главной осью 4-й прямой секции и главной осью 5-й прямой секции.

Таблица 3

Тип волокна	Дозировка волокон (кг/м^3)	f_L	$f_{R,1}$	$f_{R,2}$	$f_{R,3}$	$f_{R,3}/f_{R,1}$
FIB1	40	5,48	3,75	3,85	3,68	0,98
FIB5	40	5,80	4,11	4,31	2,83	0,69

Таблица 4

Тип волокна	Дозировка волокон (кг/м^3)	f_L	$f_{R,1}$	$f_{R,2}$	$f_{R,3}$	$f_{R,3}/f_{R,1}$
FIB2	40	5,81	5,02	6,01	5,89	1,17
FIB3	40	5,79	5,76	7,40	7,46	1,30
FIB3	20	5,56	3,06	3,51	3,54	1,16
FIB4	40	5,89	5,23	6,65	6,75	1,29

Из табл. 3 и табл. 4 можно заключить, что отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ для волокон (FIB1и FIB5), соответствующих известному уровню техники, составляет менее 1, тогда как отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ для стальных волокон (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненных согласно данному изобретению, больше 1.

Величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB1 и FIB5), соответствующих известному уровню техники, являются низкими, т.е. значительно ниже, чем величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненных согласно данному изобретению.

Сравнивая стальные волокна (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненные согласно данному изобретению, использующие дозировку 40 кг/м^3, со стальными волокнами (FIB1 и FIB5), соответствующими уровню техники, предшествующему данному изобретению, использующими дозировку 40 кг/м^3, величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, являются значительно более высокими, чем для волокон, соответствующих известному уровню техники.

Величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB1 и FIB5), соответствующих известному уровню техники, являются низкими, т.е. значительно ниже, чем величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненных согласно данному изобретению.

Сравнивая стальные волокна (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненные согласно данному изобретению, использующие дозировку 40 кг/м^3, со стальными волокнами (FIB1 и FIB5), соответствующими известному уровню техники, использующими дозировку 40 кг/м^3, величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, являются значительно более высокими, чем для волокон, соответствующих известному уровню техники.

Величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB1 и FIB5), соответствующих известному уровню техники, являются низкими, т.е. значительно ниже, чем величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ волокон (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненных согласно данному изобретению.

Сравнивая стальные волокна (FIB2, FIB3 и FIB4), выполненные согласно данному изобретению, использующие дозировку 40 кг/м^3, со стальными волокнами (FIB1 и FIB5), соответствующими известному уровню техники, использующими дозировку 40 кг/м^3, величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ стальных волокон, выполненных согласно данному изобретению, являются значительно

более высокими, чем для волокон, соответствующих известному уровню техники.

Стальное волокно FIB3 испытывали при двух различных дозировках: 20 кг/м^3 и 40 кг/м^3. Даже когда использовалась дозировка волокон 20 кг/м^3, отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ превышает 1. Это указывает на то, что такие стальные волокна ведут себя аналогично традиционной армирующей стали (на основе зависимости между напряжением и деформацией, а не на основе зависимости величины открытия трещины от напряжения).

Сравнивая стальные волокна FIB2, FIB3 и FIB4. можно заключить, что величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ увеличиваются в результате увеличения числа прямых секций от 3 до 4.

Кроме того, отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ увеличивается в результате увеличения числа прямых секций от 3 до 4.

При увеличении числа прямых секций от 4 до 5 величины остаточной изгибной прочности $f_{R,1}$, $f_{R,2}$ и $f_{R,3}$ и отношение $f_{R,3}/f_{R,1}$ больше не увеличиваются.

Удивительно, но стальные волокна с анкерными концами, имеющими четыре прямые секции, обеспечивают наилучшие рабочие характеристики.

Когда стальные волокна, приведенные в табл. 2, подвергали испытанию на выдергивание для определения силы анкеровки, стальное волокно FIB3 (имеющее четыре прямые секции) обеспечивало наилучшую анкеровку в бетоне.

В качестве примера стальные волокна, выполненные согласно данному изобретению, могут быть изготовлены следующим образом.

Исходным материалом является стальная проволока с диаметром, например, 5,5 мм или 6,5 мм, и составом стали, имеющим минимальное содержание углерода, составляющее 0,50 вес.%, например равное или более 0,60 вес.%, содержание марганца в диапазоне от 0,20 до 0,80 вес.%, содержание кремния в диапазоне от 0,10 до 0,40 вес.%. Содержание серы составляет максимум 0,04 вес.%, а содержание фосфора составляет максимум 0,04 вес.%.

Типичный состав стали содержит 0,725% углерода, 0,550% марганца, 0,250% кремния, 0,015% серы и 0,015% фосфора.

Альтернативный состав стали содержит 0,825% углерода, 0,520% марганца, 0,230% кремния, 0,008% серы и 0,010% фосфора.

Заготовку для проволоки подвергают холодной вытяжке в несколько этапов вытяжки до получения окончательного диаметра, находящегося в диапазоне от 0,20 до 1,20 мм.

Чтобы обеспечить стальному волокну его высокое удлинение при разрыве и при максимальной нагрузке, вытянутая таким образом проволока может подвергаться обработке для снятия напряжений, например путем пропускания проволоки через высокочастотную или среднечастотную индукционную катушку, имеющую длину, которая отрегулирована в соответствии со скоростью пропускания проволоки. Наблюдалось, что термообработка при температуре, составляющей приблизительно 300°C, в течение определенного периода времени приводит в результате к уменьшению прочности на растяжение приблизительно на 10% без увеличения удлинения при разрыве и удлинения при максимальной нагрузке. Однако путем небольшого увеличения температуры, например до более чем 400°C, наблюдается дальнейшее уменьшение прочности на растяжение и в то же время увеличение удлинения при разрыве и увеличение удлинения при максимальной нагрузке.

Проволоки могут быть или могут не быть покрыты коррозионно-стойким покрытием, таким как цинковое покрытие или покрытие из цинкового сплава, более конкретно цинково-алюминиевое покрытие или цинково-алюминиево-марганцевое покрытие. Перед вытяжкой или во время вытяжки проволоки могут также покрываться медным покрытием или покрытием из медного сплава, чтобы облегчить операцию вытяжки.

Проволоки со снятыми механическими напряжениями затем разрезают на соответствующие длины стальных волокон, и концы стальных волокон снабжаются соответствующим анкером или утолщением. Отрезание и получение крюкообразной формы также могут выполняться в течение одного и того же операционного этапа с помощью соответствующих валков.

Полученные таким образом стальные волокна могут быть или могут не быть склеены согласно техническим условиям US 4284667 A.

Дополнительно или альтернативно полученные стальные волокна могут помещаться в пакет, такой как, например, цепной пакет или ремнеобразный пакет. Цепной пакет, например, описан в патентом документе EP 1383634 B1, ремнеобразный пакет описан в документе EP 091502674 заявителя.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стальное волокно (400, 500, 600, 700, 1000) для армирования бетона или цементного раствора, содержащее прямую среднюю часть (402, 502, 602, 702, 1004) и анкерный конец (406, 408, 506, 508, 606, 608, 706, 708, 1002) на одном или обоих концах средней части (402, 502, 602, 702, 1004), при этом средняя часть имеет главную ось (404, 504, 604, 704, 1003) и имеет длину более 25 мм, а анкерный конец (406, 408, 506, 508, 606, 608, 706, 708, 1002) выполнен с возможностью отклонения от главной оси (404, 504,

604, 704, 1003) средней части (402, 502, 602, 702, 1004) в отклоняющейся секции (410, 510, 610, 710, 1005), причем анкерный конец имеет n изогнутых секций (420, 422, 520, 522, 524, 620, 622, 712, 714, 1007, 1009, 1011), причем число n равно или больше 2, причем когда стальное волокно (400, 500, 600, 700, 1000), находящееся в устойчивом положении на горизонтальной поверхности, образует вертикальную проекцию на горизонтальную поверхность, в вертикальной проекции на указанную горизонтальную поверхность вертикальные проекции всех n изогнутых секций (420, 422, 520, 522, 524, 620, 622, 712, 714, 1007, 1009, 1011) каждого анкерного конца располагаются на одной стороне от вертикальной проекции главной оси (404, 504, 604, 704, 1003), а в указанной вертикальной проекции на горизонтальную поверхность вертикальная проекция ни одной из n изогнутых секций (420, 422, 520, 522, 524, 620, 622, 712, 714, 1007, 1009, 1011) не располагается на вертикальной проекции главной оси (404, 504, 604, 704, 1003) или на вертикальной проекции линии, являющейся продолжением главной оси (404, 504, 604, 704, 1003).

2. Стальное волокно по п.1, в котором средняя часть (402, 502, 602, 702, 1004) стального волокна имеет прочность на растяжение R_m, составляющую по меньшей мере 1000 МПа.

3. Стальное волокно по п.1 или 2, в котором средняя часть (402, 502, 602, 702, 1004) имеет величину удлинения при максимальной нагрузке, составляющую по меньшей мере 2,5%.

4. Стальное волокно по любому из пп.1-3, которое находится в состоянии снятых механических напряжений.

5. Стальное волокно по любому из пп.1-4, в котором средняя часть (402, 502, 602, 702, 1004) указанного стального волокна снабжена по меньшей мере одной уплощенной секцией.

6. Стальное волокно по любому из пп.1-5, в котором средняя часть (402, 502, 602, 702, 1004) указанного стального волокна имеет диаметр D, находящийся в диапазоне от 0,1 до 1,2 мм.

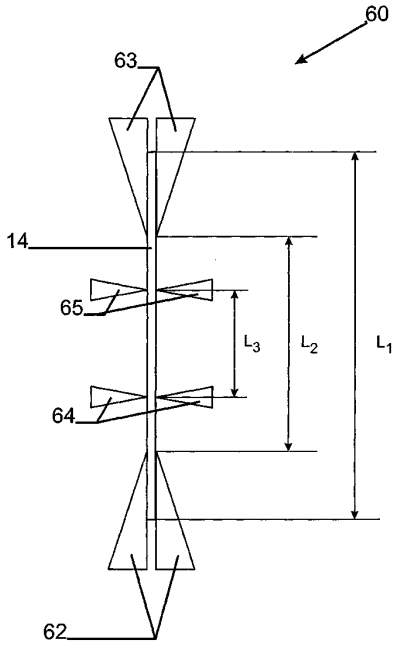
7. Стальное волокно по любому из пп.1-6, в котором отношение длины к диаметру L/D находится в диапазоне от 40 до 100.

8. Бетонная конструкция, армированная стальными волокнами (400, 500, 600, 700, 1000), выполненными по любому из пп.1-6.

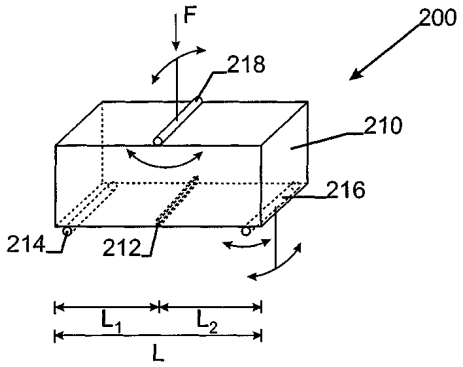
9. Бетонная конструкция по п.8, в которой отношение остаточной изгибной прочности $f_{R,3}$, деленной на остаточную изгибную прочность $f_{R,1}$ ($f_{R,3}/f_{R,1}$), составляет более 1 при дозировке стальных волокон (400, 500, 600, 700, 1000), составляющей менее 1 об.%.

10. Бетонная конструкция по п.8 или 9, в которой остаточная изгибная прочность $f_{R,3}$ составляет более 5 или более 6 при дозировке стальных волокон (400, 500, 600, 700, 1000), составляющей менее 1 об.%.

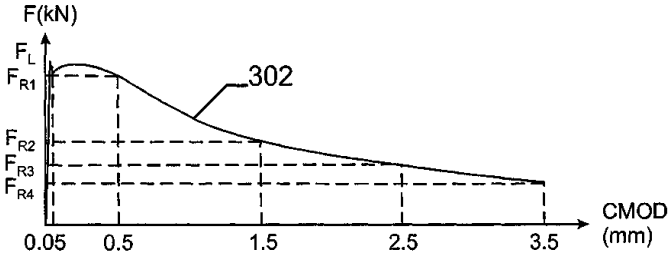
11. Применение стальных волокон (400, 500, 600, 700, 1000) по любому из пп.1-7 для несущих конструкций из бетона.



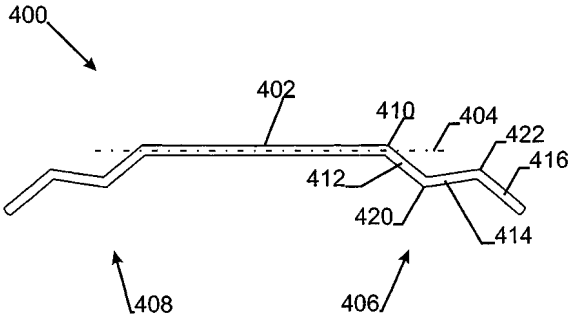
Фиг. 1



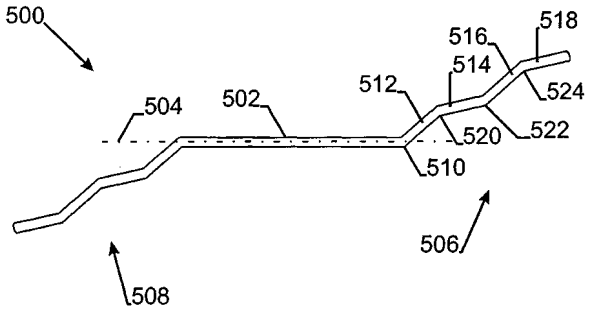
Фиг. 2



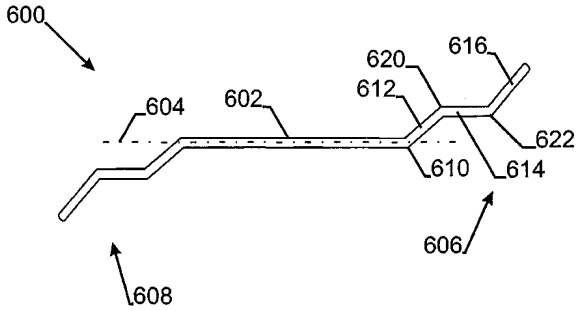
Фиг. 3



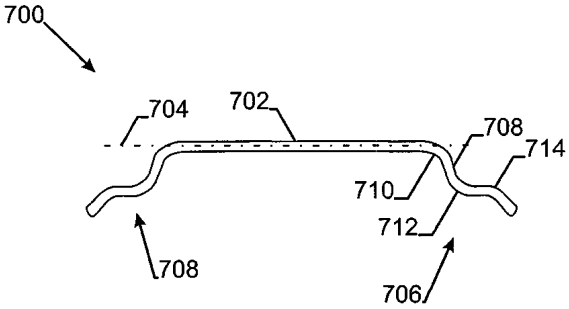
Фиг. 4



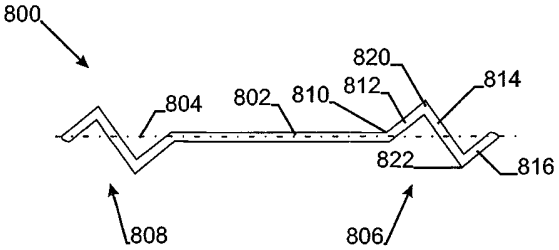
Фиг. 5



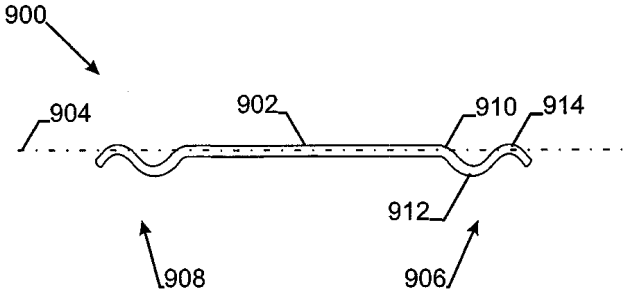
Фиг. 6



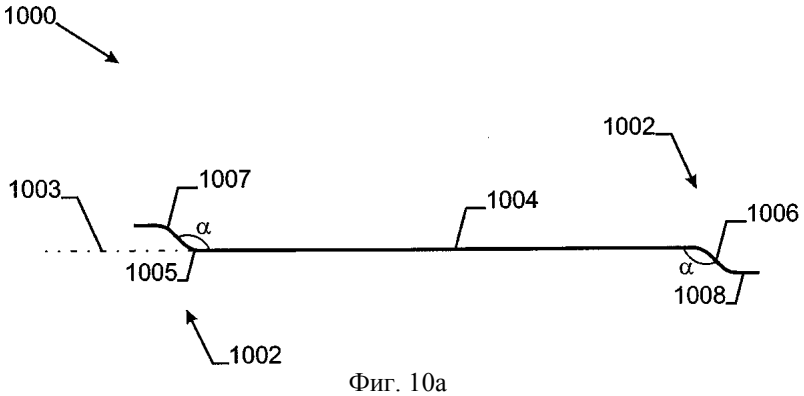
Фиг. 7



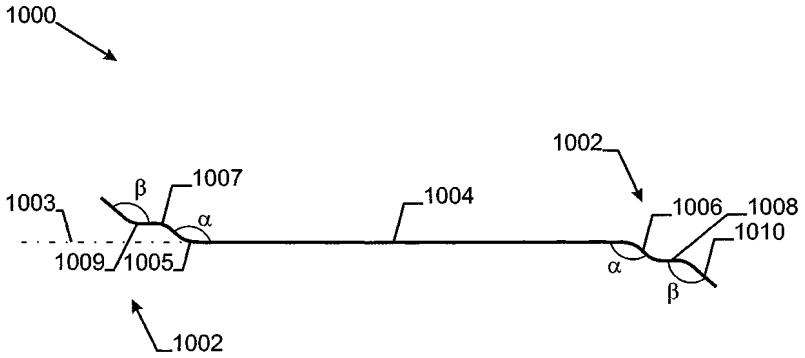
Фиг. 8



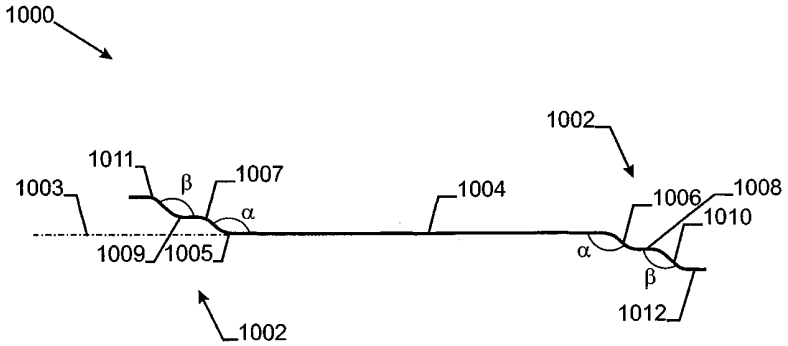
Фиг. 9



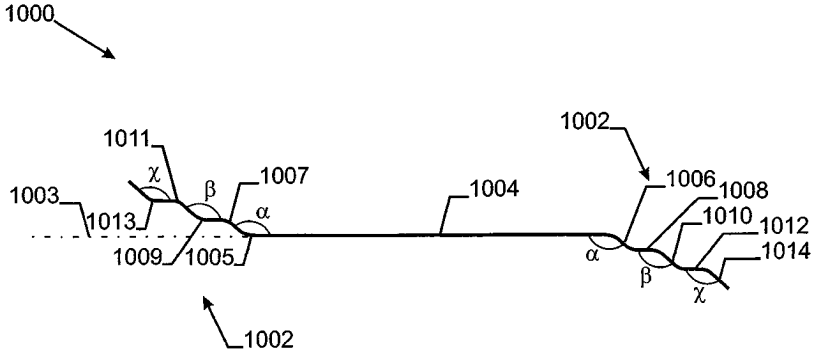
Фиг. 10a



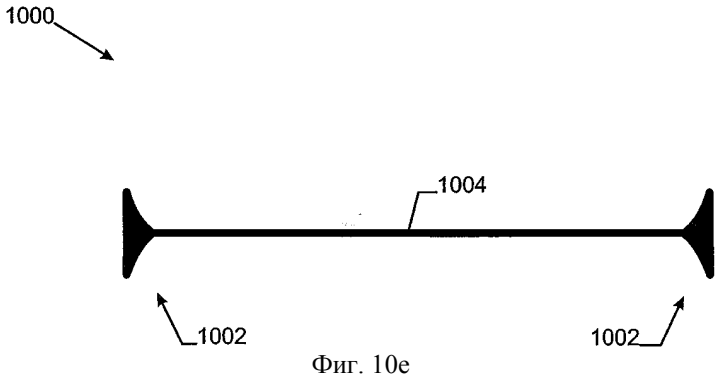
Фиг. 10b



Фиг. 10c



Фиг. 10d



Фиг. 10e