

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045426**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.11.24**

(21) Номер заявки  
**202293360**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.06.05**

(51) Int. Cl. **B21C 37/04** (2006.01)  
**C22C 1/02** (2006.01)  
**C22C 23/04** (2006.01)  
**C22C 23/00** (2006.01)  
**C22F 1/06** (2006.01)

---



---

(54) **МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ МАГНИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ  
БИОМЕДИЦИНСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

---

(43) **2023.06.15**

(86) **PCT/CN2020/094573**

(87) **WO 2021/243683 2021.12.09**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ИНСТИТУТЕ ОФ МЕТАЛ РЕСЕРЧ,  
ЧИНЕС АКАДЕМИ ОФ САЙНЦИС;  
СИЧУАН МЕГАЛЛ МЕДИСАЛ  
ДЕВИСЕС СО., ЛТД (CN)**

(56) CN-A-111229855  
CN-A-110144534  
CN-A-106521250  
CN-A-103184397  
CN-A-106917022

(72) Изобретатель:  
**Ма Чжэн, Тань Лили, Ян Кэ (CN)**

(74) Представитель:  
**Рыбина Н.А. (RU)**

(57) Изобретение относится к технологиям изготовления магниевого сплава как металлического материала и, в частности, представляет метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования. Изготовление листа из сплава магния, цинка и неодима осуществляется посредством плавки, литья, прокатки и т.д. Указанный лист будет подвержен специальному процессу механического перемешивания для создания обрабатываемой зоны той же толщины, что и лист. После механической обработки обрабатываемая зона используется в качестве конечного продукта или поддается многопроходному волочению для окончательного получения проволоки требуемого диаметра. Изобретение улучшает формовочные свойства проволоки за счет внедрения технологии прокатки и механического перемешивания, что позволяет значительно измельчить зерна сплава, значительно уменьшить размеры второй фазы, подвергнуть ее большую часть обработке на твердый раствор в матрице, значительно повысить прочность и особенно удлинение полученной проволоки, достичь лучших параметров по коррозионной стойкости, чтобы удовлетворить требованиям к характеристикам проволоки медицинского назначения из магниевого сплава.

**B1****045426****045426****B1**

### Техническая область

Настоящее изобретение относится к технологиям изготовления магниевого сплава как металлического материала и, в частности, представляет метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования.

#### Предыдущий уровень техники

Как биоразлагаемый и биологически безопасный материал, проволока из магниевого сплава способна постепенно разлагаться и метаболизироваться в организме после реализации функции имплантации, пока не исчезнет, в итоге чего нет необходимости провести вторичную операцию по удалению имплантата. Проволока из магниевого сплава обещает большие перспективы применения в биомедицинской области, как имплантационный материал для соединения грудины в кардиохирургии, соединения хряща в пластической хирургии, желудочно-кишечного анастомоза в общей хирургии, поддержки трахеального стента, поддержки пищевода стента и фильтрации пищи в двенадцатиперстной кишке.

Прочность, пластичность и скорость коррозии проволоки из магниевого сплава являются ключевыми факторами для ее применения в медицине. Тонкая магниева проволока формируется путем волочения, при этом ее микроструктура, механические свойства и коррозионные свойства не улучшаются. Кроме того, для проволоки из магниевого сплава различные легирующие добавки имеют свое воздействие на ее способность к формоизменению при волочении. Китайская патентная заявка № 201810068259.5 предусматривает изготовление проволоки из сплавов Mg-Zn-Mn-X (X = Ag, Sr, Ca, Bi) путем дробления кристаллов при большом коэффициенте экструзии в сочетании с волочением. Полученная проволока имеет небольшой диаметр, однородную микроструктуру и лучшие механические свойства. Китайская патентная заявка № 201710159114.4 предусматривает изготовление проволоки из магниево-цинкового сплава путем равноканального углового прессования в сочетании с многопроходным волочением. Полученная проволока по своим механическим и коррозионным свойствам превосходит проволоку из магниево-цинкового сплава, полученную в результате волочения. Однако проволока из магниево-цинкового сплава, изготовленная с помощью процесса равноканального углового прессования, имеет ограниченный размер и большие потери при переработке материалов, что не подходит для массового производства. На основе проволоки из магниевого сплава, изготовленной общепринятым методом волочения, в настоящем патенте вводится процесс прокатки вместо волочения во время первичной обработки материала с большим размером. Благодаря изменению нагрузки на материал при пластической деформации в определенной степени реализуется улучшение формовочных свойств и эффективности обработки магниевого сплава. Когда магниевый сплав превращается в тонкий лист при прокатке, в процесс вводится технология механического перемешивания, принцип которой заключается в том, что вращающийся штифт с резьбовым цилиндром осуществляет механическое перемешивание по направлению от центра одного конца листа к центру другого конца, при этом относительное движение вращающегося штифта и материалов приводит к сильной пластической деформации материала, что позволяет улучшить его микроструктуру и свойства. Принципиальная схема показана на фиг. 1. Зона, подвергшаяся процессу механического перемешивания, может быть использована в качестве конечного материала для проволоки после механической обработки или подаваться дальнейшему волочению.

#### Содержание изобретения

Цель настоящего изобретения состоит в том, чтобы представить метод изготовления проволоки медицинского назначения из магниевого сплава, с учетом трудностей при изготовлении и формировании проволоки из магниевого сплава, а также отсутствия эксплуатационных свойств конечного продукта, таких как прочность, пластичность и коррозионная стойкость, отвечающих требованиям к проволоке медицинского назначения из магниевого сплава.

Техническим решением настоящего изобретения является метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, который изменяет классический процесс волочения металлической проволоки и сочетает в себе три процесса прокатки, механического перемешивания и волочения, используется для оптимизации получения проволоки из магниевого сплава и улучшения общей производительности. Указанный метод состоит из следующих операций:

- (1) плавление чистого магния и других легирующих элементов в требуемой пропорции для получения жидкого металла, равномерное перемешивание и удаление шлака;
- (2) литье плоского слитка из расплавленного сплава, полученного на этапе (1), устранение поверхностных дефектов и удаление поверхностных примесей;
- (3) гомогенизация плоского слитка с этапа (2) для термической обработки при температуре 250-400°C в течение 2-5 ч;
- (4) плоский слиток с этапа (3) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной 70-100 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 470-510°C и временем нагрева 3-6 ч при горячей прокатке;
- (5) лист магниевого сплава с этапа (4) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной 10-20 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 440-470°C и временем нагрева 2-5 ч при горячей прокатке;
- (6) лист магниевого сплава с этапа (5) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной

2-8 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 380-440°C и временем нагрева 2-4 ч при горячей прокатке;

(7) лист магниевый сплава с этапа (6) будет обработан методом механического перемешивания для создания зоны пластической деформации с перемешиванием той же толщины, что и лист магниевый сплава.

(8) зона пластической деформации с перемешиванием в листе из магниевый сплава, полученная на этапе (7), будет отрезана и подвержена механической обработке, в результате будет изготовлен пруток диаметром  $\varnothing$ 2-8 мм;

(9) пруток с этапа (8) будет переработан в проволоку многопроходным волочением с отжиговой термической обработкой при температуре 280-320°C. При этом время обработки составляет 10-60 мин, деформация за один проход - 15-25%, скорость волочения - 0,01-0,05 м/с.

По описанному методу изготовления проволоки из магниевый сплава для биомедицинского использования на этапе (1) другие легирующие элементы, такие как Zn и Nd, составляют 0,2-2,5 вес.% и 0,2-2,5 вес.% соответственно.

По описанному методу изготовления проволоки из магниевый сплава для биомедицинского использования на этапе (7) процесс механического перемешивания заключается в том, что механическое перемешивание осуществляют по направлению прокатки листа со скоростью перемещения вращающегося штифта 80-120 мм/мин и скоростью его вращения 400-1200 об/мин. Применяется вогнутый заплечик диаметром 15-25 мм, в центре нижней части которого предусматривается штифт диаметром 1-5 мм. Угол наклона оси штифта к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевый сплава составляет 2,6-3°, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

По описанному методу изготовления проволоки из магниевый сплава для биомедицинского использования на этапе (7) зона пластической деформации с перемешиванием в процессе механического перемешивания подвергается механической обработке для изготовления проволоки в качестве конечного продукта или в качестве промежуточного продукта с последующим изготовлением проволоки посредством многопроходного волочения.

Идея настоящего изобретения заключается в следующем.

В связи с тем, что в настоящее время магниевый сплав плохо поддается формоизменению при ее волочении и сложно изготовить медицинские материалы, механические и коррозионные свойства которых соответствуют требуемым конечным характеристикам медпродукции. Настоящее изобретение нацелено на изменение классического процесса волочения путем сочетания технологии прокатки и механического перемешивания и заключается в нижеследующем: во-первых, посредством прокатки снизить сложность формоизменения магниевый сплава, обеспечить массовое производство материала и возможности выполнения последующего процесса механического перемешивания; во-вторых, с помощью процесса механического перемешивания дополнительно улучшить микроструктуру сплава и его прочность, пластичность и коррозионную стойкость, а также повысить производительность последующего процесса волочения; в-третьих, за счет незначительного объема работы с волочением получить конечную целевую проволоку. Вышеуказанное взаимодействие обеспечивает лучшую пластическую формуемость проволоки, а также механическую прочность и коррозионную стойкость проволоки медицинского назначения.

Настоящее изобретение представляет метод изготовления проволоки из магниевый сплава для биомедицинского использования, который заключается в нижеследующем:

а) механическое перемешивание листа из магниевый сплава для получения зоны пластической деформации с перемешиванием той же толщины, что и лист из магниевый сплава;

б) изготовление прутка диаметром  $\varnothing$ 2-8 мм на основе зоны пластической деформации с перемешиванием;

в) пруток подвергается переработке в проволоку посредством волочения.

Описанный процесс механического перемешивания заключается в том, что механическое перемешивание осуществляют по направлению прокатки листа со скоростью перемещения вращающегося штифта 80-120 мм/мин и скоростью его вращения 400-1200 об/мин. Применяется вогнутый заплечик диаметром 15-25 мм, в центре нижней части которого предусматривается вращающийся штифт диаметром 1-5 мм. Угол наклона оси штифта к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевый сплава составляет 2,6-3°, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

Настоящее изобретение представляет метод изготовления листа из магниевый сплава для биомедицинского использования, который заключается в нижеследующем:

(1) плавление чистого магния и других легирующих элементов в требуемой пропорции для получения жидкого металла, равномерное перемешивание и удаление шлака;

(2) литье плоского слитка из расплавленного сплава, полученного на этапе (1), устранение поверхностных дефектов и удаление поверхностных примесей;

(3) гомогенизация плоского слитка с этапа (2) для термической обработки при температуре 250-400°C в течение 2-5 ч;

(4) плоский слиток с этапа (3) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной 70-100 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 470-510°C и временем нагрева 3-6 ч при горячей прокатке;

(5) лист магниевого сплава с этапа (4) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной 10-20 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 440-470°C и временем нагрева 2-5 ч при горячей прокатке;

(6) лист магниевого сплава с этапа (5) будет переработан в лист магниевого сплава толщиной 2-8 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла 380-440°C и временем нагрева 24 ч при горячей прокатке, в результате будет получен лист магниевого сплава.

Настоящее изобретение представляет проволоку из магниевого сплава, изготовленную по указанному методу.

Настоящее изобретение представляет лист из магниевого сплава, изготовленный по указанному методу.

Настоящее изобретение представляет имплантат *in vivo*, в состав исходного материала которого входит указанный лист из магниевого сплава, или материал, полученный посредственно или косвенно из указанного листа из магниевого сплава.

Настоящее изобретение представляет имплантат *in vivo*, в состав исходного материала которого входит указанная проволока из магниевого сплава, или материал, полученный посредственно или косвенно из указанной проволоки из магниевого сплава.

К числу указанного имплантата *in vivo* относятся настомозные скобы, нити для зашивания раны, нити в косметологии, скобы для кожных степлеров, нейросвязующие проволоки, несосудистые стенты, периферические сосудистые стенты, пластыри, сосудистые степлеры, винты для остеосинтеза, металлические пластинки для скрепления отломков кости и сосудистые зажимы. В том числе металлические пластинки для скрепления отломков кости и сосудистые зажимы изготавливаются в основном из листа магниевого сплава как исходного материала.

В состав исходного материала имплантата *in vivo* также входит покрывающий материал.

Покрывающий материал может быть использован для регулирования скорости разложения проволоки в организме. Указанный покрывающий материал включает, но не ограничиваясь, покрытие из фосфата магния, покрытие из оксида магния, покрытие из карбоната магния или биоразлагаемое полимерное покрытие.

Преимуществами и положительными эффектами настоящего изобретения являются следующие.

Настоящее изобретение сочетает в себе технологию прокатки, механического перемешивания и волочения, что позволяет довести изготовление проволоки из магниевого сплава до массового производства с использованием тонкой технологии и в итоге получить ультратонкие равноосные кристаллы, значительно уменьшить количество и размеры второй фазы материала и подвергнуть ее большую часть обработке на твердый раствор в магниевой матрице, значительно повысить прочность, пластичность и коррозионную стойкость проволоки. Таким образом, повышение пластичности облегчает последующий процесс волочения и даже делает его возможным при комнатной температуре. Большая прочность, пластичность и коррозионная стойкость проволоки из магниевого сплава позволяет удовлетворять требованиям к клиническому использованию, расширяет сферу клинического применения проволоки из магниевого сплава.

#### **Пояснения приложенных чертежей**

На фиг. 1 представлена технологическая схема механического перемешивания. На фигуре: 1 - лист из магниевого сплава, 2 - зона пластической деформации с перемешиванием, 3 - вращающийся штифт.

На фиг. 2 представлена морфология анастомозной скобы, изготовленной из проволоки из магниевого сплава.

На фиг. 3 представлена металлографическая структура проволоки из магниевого сплава.

На фиг. 4 представлена ТЕМ-морфология проволоки из магниевого сплава.

На фиг. 5 представлена схема торца вращающегося штифта с вогнутым заплечиком, где (а) - нижняя торцевая поверхность вогнутого заплечика имеет ступенчатую форму, (б) нижняя торцевая поверхность нижнего вогнутого плеча имеет спиральную форму. На фигуре: 3 - вращающийся штифт, 4 - вогнутый заплечик.

#### **Конкретный способ осуществления**

В процессе конкретной реализации изготовление листа из сплава магния, цинка и неодима осуществляется посредством плавки, литья, прокатки и т.д. Указанный лист будет подвержен специальному процессу механического перемешивания для создания обрабатываемой зоны той же толщины, что и лист. После механической обработки обрабатываемая зона используется в качестве конечного продукта из проволоки или поддается многопроходному волочению для окончательного получения проволоки требуемого диаметра. Ввиду трудностей при изготовлении и формовании проволоки из магниевого сплава, а также отсутствия эксплуатационных свойств конечного продукта, таких как прочность, пластичность и коррозионная стойкость, отвечающих требованиям медицинских проволок, изменить классиче-

ский процесс изготовления проволоки из магниевого сплава посредством волочения за счет внедрения технологии прокатки и механического перемешивания в сочетании с последующим волочением, в результате улучшить формовочные свойства проволоки из магниевого сплава, которая в итоге может быть переработана в тонкую проволоку с минимальным диаметром 0,1 мм. Кроме того, сильная пластическая деформация, вызванная механическим перемешиванием, позволяет получать в материале мелкие равноосные зерна, вводить дислокационный упроченный материал, улучшать пластичность материала за счет обработки второй фазы на твердый раствор, одновременно повышать коррозионностойкость сплава.

Ниже с помощью приложенных иллюстраций будем подробно описывать варианты реализации настоящего изобретения, которые реализуются на основе технического решения настоящего изобретения, с указанием подробного порядка реализации и конкретных операций, но сфера защиты изобретения не ограничивается нижеследующими вариантами реализации.

Пример реализации 1.

В данном примере реализации состав сплава Mg-2Zn-0,5Nd составляет в вес. %: Zn - 2, Nd - 0,5, а остальное - Mg.

Метод изготовления: плавление чистого магния, Zn (2%) и Nd (0,5%) в весовых процентах в жидкий металл, литье плоского слитка из расплавленного сплава, устранение поверхностных дефектов и удаление поверхностных примесей, гомогенизация плоского слитка для термической обработки при температуре 300°C в течение 5 ч; получение обработанного листа из магниевого сплава толщиной 70 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки (температура выпуска 480°C, время нагрева 4 ч); получение обработанного листа из магниевого сплава толщиной 10 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки (температура выпуска 440°C, время нагрева 4 ч); получение обработанного листа из магниевого сплава толщиной 2 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки листа (температура выпуска 440°C, время нагрева 2 ч).

Как показано на фиг. 1, подвергать лист из магниевого сплава 1 обработке методом механического перемешивания, которое осуществляют по направлению прокатки листа, при этом вращающийся штифт 3 перемещается по горизонтальному направлению движения с перемешиванием со скоростью движения 100 мм/мин и скоростью вращения 800 об/мин. Применяется вогнутый заплечик диаметром 20 мм, в центре нижней части которого предусматривается вращающийся штифт 3 диаметром 2 мм. Угол наклона оси вращающегося штифта 3 к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевого сплава 1 составляет порядка 2,8° (данный угол наклона способствует тому, что штифт проникает внутрь материала для трения и перемешивания), направление наклона штифта 3 противоположно направлению перемешивания, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,15 мм. Таким образом, образуется ленточная зона с сильной пластической деформацией (зона пластической деформации с перемешиванием 2), которая будет отрезана и подвержена механической обработке, в результате будет изготовлен пруток диаметром  $\varnothing 2$  мм; пруток будет переработан в проволоку многопроходным волочением с отжиговой термической обработкой при температуре 280°C. При этом время переработки составляет 20 мин, деформация за один проход - порядка 20%, скорость волочения - 0,05 м/с, и в итоге будет получена проволока диаметром 0,3 мм.

У-образная анастомозная скоба, полученная из изготовленной проволоки, приведена на фиг. 2. Микроструктура проволоки приведена на фиг. 3, зерна данной проволоки равноосные. Морфология проволоки, полученная с помощью ТЭМ, приведена на фиг. 4. Зерна сплава мелкие по размерам, которые составляют от 500 нм до 1 мкм. Имеющаяся дислокация внутри зерен дополнительно упрочняет сплав и приводит к исключительно незначительному размеру образовавшейся второй фазы в диапазоне 50-100 нм.

Как показано на фиг. 5, в центре нижнего торца вогнутого заплечика 4 устанавливается вращающийся штифт 3. Место соединения вогнутого заплечика 4 и вращающегося штифта 3 имеет вогнутую форму, что позволяет увеличить площадь контакта вогнутого заплечика 4 с поверхностью листа и подвергнуть размягченный материал, находящийся под торцом вогнутого заплечика 4, воздействию усилия, направленного внутрь, так что вогнутый заплечик 4 и пластиковые материалы будут тесно связаны между собой.

Свойства при растяжении (GB/T 228-2002): прочность на растяжение 320 МПа, удлинение 15%.

Скорость разложения (раствор Хенкса, замачивание в течение 30 дней, 37°C): 0,33 мм/год.

Пример реализации 2.

В данном примере реализации состав сплава Mg-0,2Zn-2,0Nd составляет в вес. %: Zn - 0,2, Nd - 2,0, а остальное - Mg.

Метод изготовления: плавление чистого магния, Zn (0,2%) и Nd (2,0%) в весовых процентах в жидкий металл, литье плоского слитка из расплавленного сплава, устранение поверхностных дефектов и удаление поверхностных примесей, гомогенизация плоского слитка для термической обработки при температуре 320°C в течение 5 ч; получение обработанного листа из магниевого сплава толщиной 70 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки (температура выпуска 480°C, время нагрева 4 ч); получение обработанного листа из магниевого сплава толщиной 10 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки (температура выпуска 440°C, время нагрева 4 ч); получение обработан-

ного листа из магниевого сплава толщиной 2 мм, шириной 540 мм и длиной 400 мм путем горячей прокатки листа (температура выпуска 440°C, время нагрева 2 ч).

Как показано на фиг. 1, подвергать лист из магниевого сплава 1 обработке методом механического перемешивания, которое осуществляют по направлению прокатки листа, при этом вращающийся штифт 3 перемещается по горизонтальному направлению движения с перемешиванием со скоростью движения 100 мм/мин и скоростью вращения 800 об/мин.

Применяется вогнутый заплечик диаметром 20 мм, в центре нижней части которого предусматривается вращающийся штифт 3 диаметром 2 мм (фиг. 5). Угол наклона оси вращающегося штифта 3 к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевого сплава 1 составляет порядка 2,8° (данный угол наклона способствует тому, что штифт проникает внутрь материала для трения и перемешивания), направление наклона штифта 3 противоположно направлению перемешивания, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,15 мм. Таким образом, образуется ленточная зона с сильной пластической деформацией (зона пластической деформации с перемешиванием 2), которая будет отрезана и подвержена механической обработке, в результате будет изготовлен пруток диаметром  $\varnothing 2$  мм; пруток будет переработан в проволоку многопроходным волочением с отжиговой термической обработкой при температуре 280°C. При этом время переработки составляет 20 мин, деформация за один проход - порядка 20%, скорость волочения - 0,05 м/с, и в итоге будет получена проволока диаметром 0,6 мм.

Зерна полученной проволоки равноосные. Зерна сплава мелкие по размерам, которые составляют от 500 нм до 1 мкм. Имеющаяся дислокация внутри зерен дополнительно упрочняет сплав и приводит к исключительно незначительному размеру образовавшейся второй фазы в диапазоне 50-100 нм.

Свойства при растяжении (GB/T 228-2002): прочность на растяжение 360 МПа, удлинение 21%.

Скорость разложения (раствор Хенкса, замачивание в течение 30 дней, 37°C): 0,36 мм/год.

Результаты реализации в примерах показывают, что настоящее изобретение улучшает формовочные свойства проволоки за счет внедрения технологии прокатки и механического перемешивания, что позволяет значительно измельчить зерна сплава, значительно уменьшить размеры второй фазы, подвергнуть ее большую часть обработке на твердый раствор в матрице, значительно повысить прочность и особенно удлинение полученной проволоки, достичь лучших параметров по коррозионной стойкости, чтобы удовлетворить требованиям к характеристикам проволоки медицинского назначения из магниевого сплава.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, отличающийся тем, что он заключается в нижеследующем:

(а) механическое перемешивание листа из магниевого сплава для получения зоны пластической деформации с перемешиванием той же толщины, что и лист из магниевого сплава;

(б) изготовление прутка диаметром  $\varnothing 2-8$  мм на основе зоны пластической деформации с перемешиванием;

(в) пруток подвергается переработке в проволоку посредством волочения; описанный процесс механического перемешивания заключается в том, что механическое перемешивание осуществляют по направлению прокатки листа со скоростью перемещения вращающегося штифта 80-120 мм/мин и скоростью его вращения 400-1200 об/мин, и применяется вогнутый заплечик диаметром 15-25 мм, в центре нижней части которого предусматривается вращающийся штифт диаметром 1-5 мм, а угол наклона оси штифта к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевого сплава составляет 2,6-3°, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

2. Способ изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования по п.1, отличающийся тем, что на этапе (а) зона пластической деформации с перемешиванием, полученная в процессе механического перемешивания, подвергается механической обработке для изготовления проволоки в качестве конечного продукта или в качестве промежуточного продукта с последующим изготовлением проволоки посредством многопроходного волочения; этап (б) остаётся без изменений, а на этапе (в) процесс волочения сочетается с отжиговой термической обработкой при температуре 280-320°C в течение 10-60 мин, при этом деформация за один проход составляет 15-25%, а скорость волочения - 0,01-0,05 м/с.

3. Способ изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования по п.1, отличающийся тем, что указанный метод изготовления листа магниевого сплава состоит из следующих операций:

(1) плавление чистого магния и других легирующих элементов в требуемой пропорции для получения жидкого металла, равномерное перемешивание и удаление шлака;

(2) литье плоского слитка из расплавленного сплава, полученного на этапе (1), устранение поверхностных дефектов и удаление поверхностных примесей;

(3) гомогенизация плоского слитка с этапа (2) для термической обработки при температуре 250-

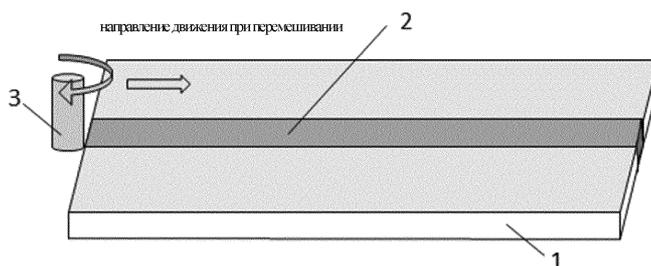
400°C в течение 2-5 ч;

(4) переработка плоского слитка с этапа (3) в лист магниевого сплава толщиной 70-100 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путём горячей прокатки, с температурой выпуска металла 470-510°C и временем нагрева 3-6 ч при горячей прокатке;

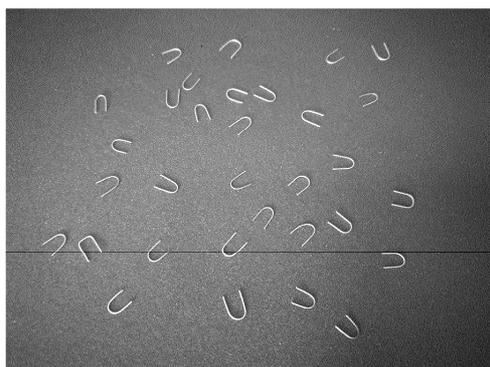
(5) переработка листа магниевого сплава с этапа (4) в лист магниевого сплава толщиной 10-20 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путём горячей прокатки, с температурой выпуска металла 440-470°C и временем нагрева 2-5 ч при горячей прокатке;

(6) переработка листа магниевого сплава с этапа (5) в лист магниевого сплава толщиной 2-8 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путём горячей прокатки, с температурой выпуска металла 380-440°C и временем нагрева 2-4 ч при горячей прокатке, получение в результате листа магниевого сплава.

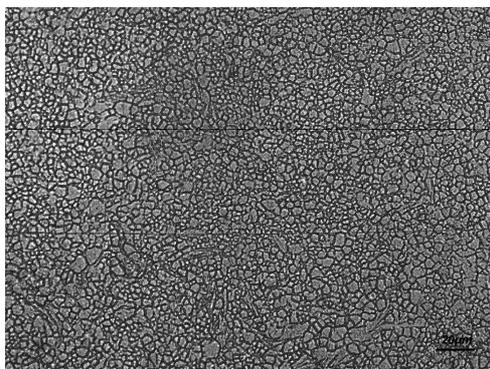
4. Способ изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования по п.1, отличающийся тем, что другие легирующие элементы, такие как Zn и Nd, составляют 0,2-2,5 вес.% и 0,2-2,5 вес.% соответственно.



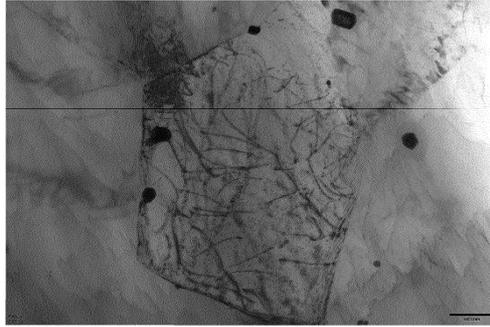
Фиг. 1



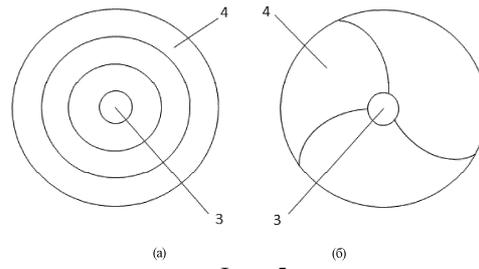
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5