

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202293360 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.06.15(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)

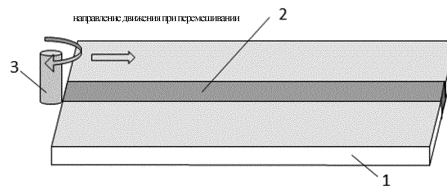
(54) МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ МАГНИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

(86) PCT/CN2020/094573

(87) WO 2021/243683 2021.12.09

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



A1

202293360

202293360

A1

Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования

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 магниевая проволока формируется путем волочения, при этом ее микроструктура, механические свойства и коррозионностойкие 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 рис. 1. Зона, подвергшаяся процессу механического перемешивания, может быть использована в качестве конечного материала для проволоки после механической обработки или поддаваться 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 формовании 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 2-5ч;

(4) плоский слиток с этапа (3) будет переработан в лист магниевое 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 магниевое сплава с этапа (4) будет переработан в лист магниевое 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 магниевое сплава с этапа (5) будет переработан в лист магниевое 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 магниевое сплава с этапа (6) будет обработан методом механического перемешивания для создания зоны пластической деформации с перемешиванием той же толщины, что и лист магниевое сплава.

(8) зона пластической деформации с перемешиванием в листе из магниевое сплава, полученная на этапе (7), будет отрезана и подвержена механической обработке, в результате будет изготовлен пруток диаметром Φ 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 - 0,01-0,05м/с.

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

По описанному методу изготовления проволоки из магниевое 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 магниевое 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 магниевого 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 магниевого 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 приобретение представляет метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, который 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 $\Phi 2-8$ мм на основе зоны пластической деформации с перемешиванием.

Г. 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 магниевых сплава составляет $2,6-3^\circ$, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

Настоящее приобретение представляет метод изготовления листа из магниевых 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 $250-400^\circ\text{C}$ в течение 2-5ч;

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

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

(6) лист магниевых сплава с этапа (5) будет переработан в лист магниевых сплава толщиной 2-8 мм, шириной 540-730 мм и длиной 400-1200 мм путем горячей прокатки, с температурой выпуска металла $380-440^\circ\text{C}$ и временем нагрева 2-4 ч при горячей прокатке, в результате будет получен лист магниевых сплава. Настоящее приобретение представляет проволоку из магниевых сплава, изготовленный по указанному методу.

Настоящее приобретение представляет лист из магниевых сплава, изготовленный по указанному методу.

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

Настоящее приобретение 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 покрытием из фосфата магния, покрытием из оксида магния, покрытием из карбоната магния или биоразлагаемым полимерным покрытием.

Преимуществами и положительными эффектами настоящего изобретения является следующее:

Настоящее изобретение сочетает в себе технологию прокатки, механического перемешивания и волочения, что позволяет довести изготовления 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 приложенного чертежа

На рис. 1 представлена технологическая схема механического перемешивания. На рисунке: 1 - лист из магниевого сплава, 2 - зона пластической деформации с перемешиванием,

3- вращающийся штифт.

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

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

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

На рис. 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 рис. 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 классический 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 составляют в весовых процентах 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 5ч; 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 рис.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 $\Phi 2$ 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 - 0,05м/с, и в итоге будет получена проволока диаметром 0,3 мм.

U-образная анастомозная скоба, полученная из изготовленной проволоки, приведен на

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

Как показано на рис.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 320МПа, 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 составляют в весовых процентах 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 магниевое 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 магниевое 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 магниевое 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 рис.1, подвергать лист из магниевое 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 (рис.5). Угол наклона оси вращающегося штифта 3 к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевого сплава 1 составляет порядка $2,8^\circ$ (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 $\Phi 2$ 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 составляет от 500 нм до 1мкм. 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.

Опубликованная формула изобретения

1. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования отличается тем, что он 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 2-5ч;

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

(8) зона пластической деформации с перемешиванием в листе из магниевого сплава, полученная на этапе (7), будет отрезана и подвержена механической обработке, в результате будет изготовлен пруток диаметром $\Phi 2-8$ 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 - 0,01-0,05м/с.

2. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, описанный в п.1 настоящих «Формул изобретения», отличается тем, что на

этапе (1) другие легирующие элементы, такие как Zn и Nd, составляют 0,2%-2,5% и 0,2%-2,5% в весовых процентах соответственно.

3. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, описанный в п.1 настоящего «Формул изобретения», отличается тем, что 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 вращающийся штифт диаметром 1-5 мм. Угол наклона оси штифта к нормали поверхности обрабатываемого объекта из листового магниевого сплава составляет $2,6-3^\circ$, а величина нажатия штифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

4. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования, описанный в п.1 настоящего «Формул изобретения», отличается тем, что на этапе (7) 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.

5. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава для биомедицинского использования отличается 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 $\Phi 2-8$ мм на основе зоны пластической деформации с перемешиванием.

Г. прутки подвергаются 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 магниевого сплава

составляет $2,6-3^\circ$, а величина нажатия шпифта при перемешивании поддерживается на уровне 0,1-0,2 мм.

6. Метод изготовления проволоки из магниевого сплава отличается тем, что он 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 $250-400^\circ\text{C}$ в течение 2-5ч;

(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 $470-510^\circ\text{C}$ 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 $440-470^\circ\text{C}$ 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 $380-440^\circ\text{C}$ и временем нагрева 2-4 ч при горячей прокатке, в результате будет получен лист магниевого сплава.

7. Проволока из магниевого сплава, полученная методом, описанным в любом из п.п.1-5 настоящих «Формул изобретения».

8. Лист из магниевого сплава, полученный методом, описанным в п.6. настоящих «Формул изобретения».

9. Имплантат *in vivo* отличается тем, что в состав его исходного материала входит лист из магниевого сплава, описанный в п.8 настоящих «Формул изобретения», или материал, полученный из листового магниевого сплава, описанного в п.8 настоящих «Формул изобретения».

10. Имплантат *in vivo* отличается тем, что в состав его исходного материала входит проволока из магниевого сплава, описанная в п.7 настоящих «Формул изобретения», или материал, полученный из проволоки магниевого сплава, описанной в п.7 настоящих «Формул изобретения».

11. Имплантат *in vivo*, описанный в п.9 или п.10, отличается тем, что к числу указанного имплантат *in vivo* относятся анастомозные 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.

12. Имплантат *in vivo*, описанный в любом из пунктов п.п.9-11 настоящих «Формул изобретения», отличается тем, что в состав его исходного материала дополнительно входит покрывающий материал.

13. Имплантат *in vivo*, описанный в п.12 настоящих «Формул изобретения», отличается тем, что в состав указанного покрывающего материала входит покрытие из фосфата магния, покрытие из оксида магния, покрытие из карбоната магния или биоразлагаемое полимерное покрытие.

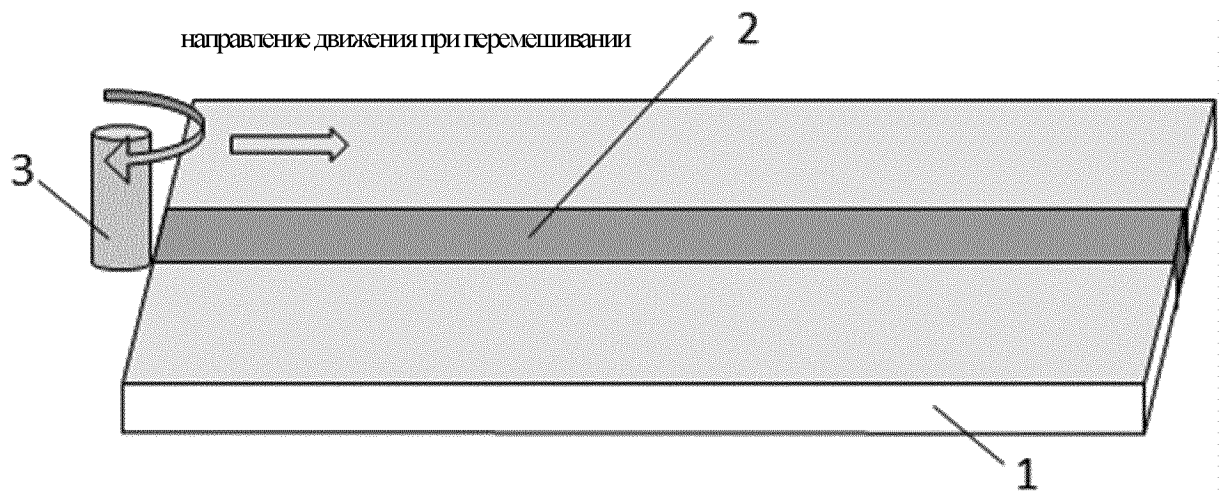


Рисунок 1

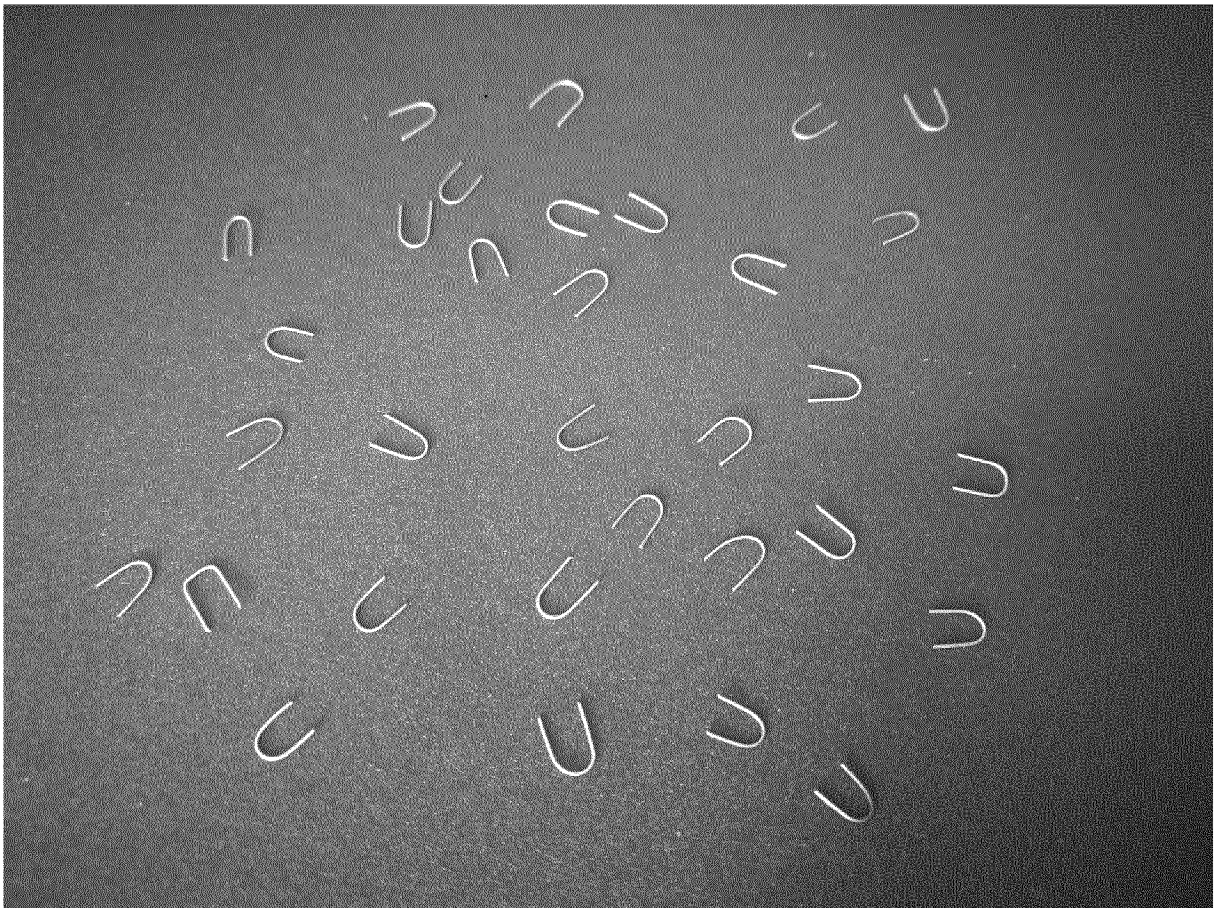


Рисунок 2

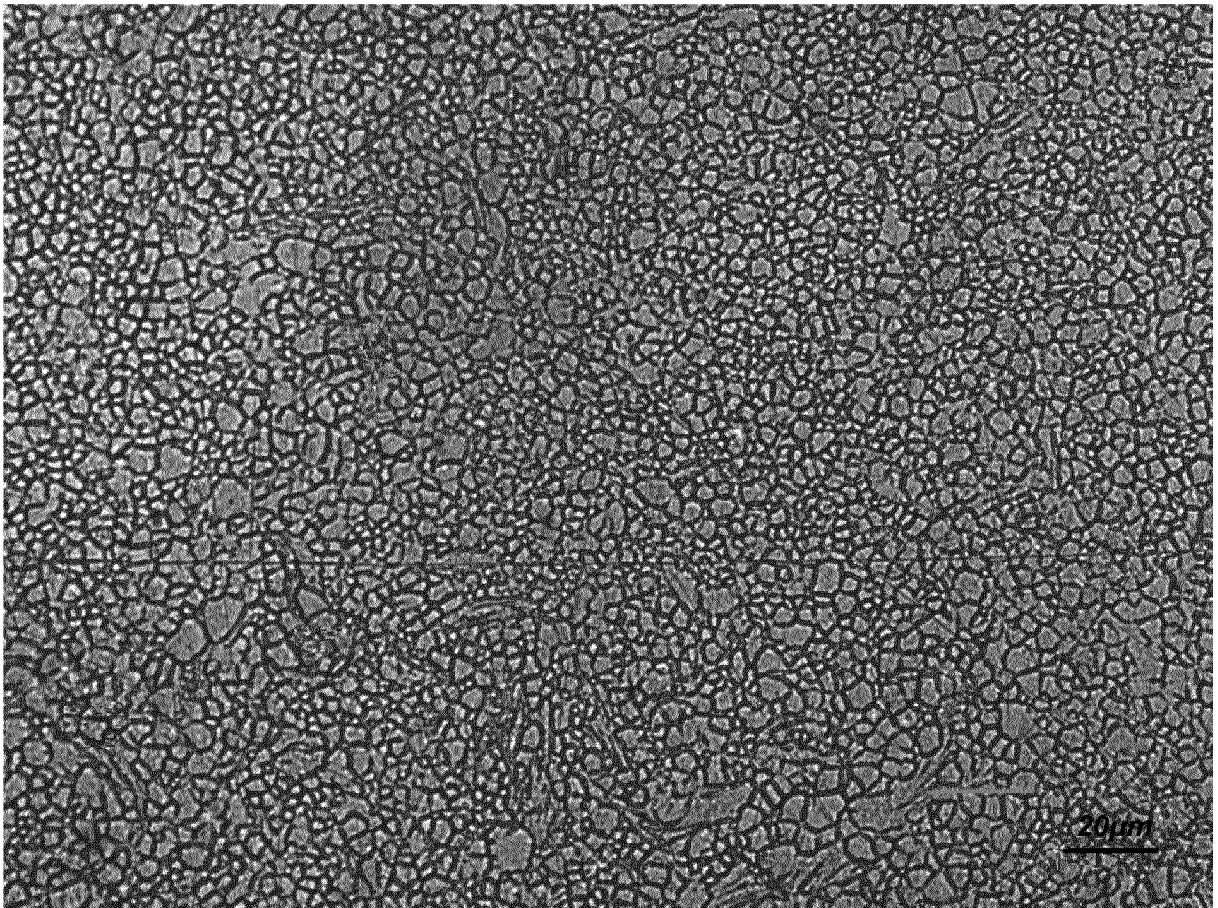


Рисунок 3

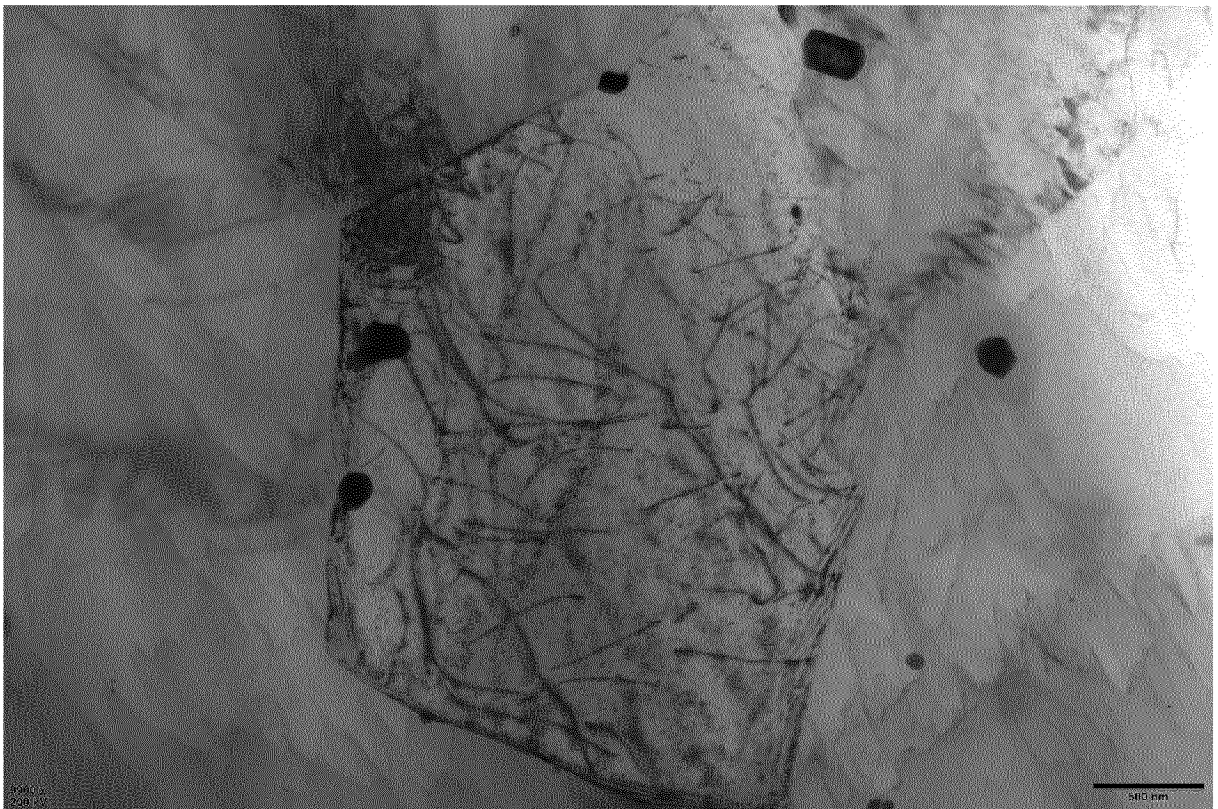


Рисунок 4

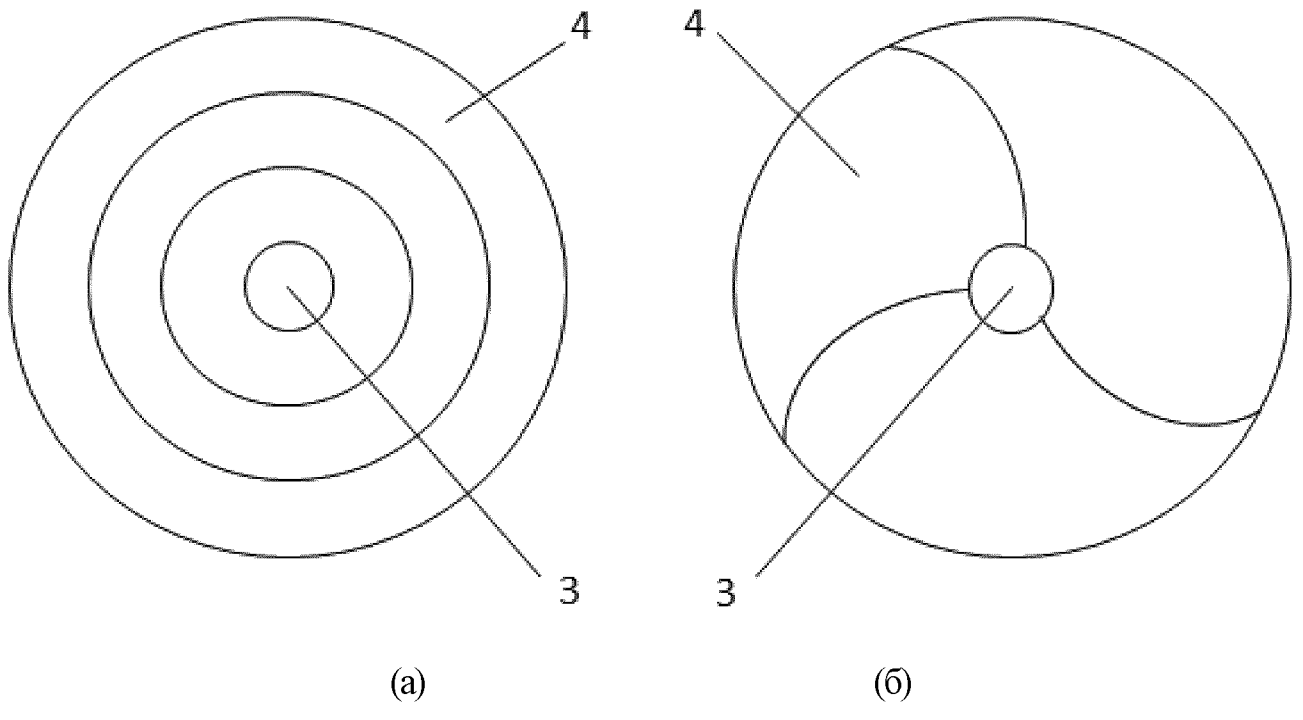


Рисунок 5