



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39889 (13) C2

(51) 7 C22B9/20, C22B4/00, C22B34/24,
C22C1/10, C22C27/02, B23K35/32,
B23K35/40

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ДЕФОРМІВНОГО МЕТАЛЕВОГО ПРОДУКТУ ІЗ ВИТРАЧУВАНОВОГО ЕЛЕКТРОДА (ВАРІАНТИ), ЗЛИВОК, ДЕФОРМІВНИЙ МЕТАЛЕВИЙ ПРОДУКТ І ВИТРАЧУВАНИЙ ЕЛЕКТРОД

(21) 96010390

(22) 27.07.1994

(24) 16.07.2001

(31) 08/102.358

(32) 05.08.1993

(33) US

(86) PCT/US94/08629, 27.07.1994

(46) 16.07.2001, Бюл. № 6, 2001 р.

(72) Інглман Роберт К., US, Фішер Джон Г., US, Хітлі Чарльз, US, Хубер Луїс, US, Кумар Прабхат, US

(73) Кебот Корпорейшн, US

(56) SU, 3933474, А, 20.01.76

(57) 1. Способ формования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, включающий формование тела расходуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, установку металлического тела электрода вблизи от тигля, имеющего заземляющий источник, индуцирование между телом электрода и заземляющим источником дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавки исходного металла и слоя сплава, формование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка, и формование деформируемого продукта из слитка, **отличающийся** тем, что на тело электрода первый слой сплава наносят с равномерной толщиной, а ванну расплавленного металла одновременно перемешивают при плавке тела электрода с нанесенным на него первым слоем сплава.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что исходный металл получают электронно-лучевой плавкой.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что исходный металл получают химическим осаждением.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что исходный металл выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

5. Способ по п. 4, **отличающийся** тем, что на исходный металл осаждают первый слой средней толщины 0,00762-0,0152 см.

6. Способ по п. 5, **отличающийся** тем, что заземляющий источник представляет собой некоторое количество тантала.

7. Способ по п. 3, **отличающийся** тем, что первый слой сплавляемых элементов содержит менее

1 вес. % от веса исходного материала, а указанные элементы дополнительно включают нитрид иттрия, кремний и тантал.

8. Способ по п. 7, **отличающийся** тем, что исходный металл в теле электрода имеет вес в диапазоне 22,68-2268 кг.

9. Способ по п. 8, **отличающийся** тем, что первый слой осаждают на исходный металл плазменным напылением.

10. Способ по п. 9, **отличающийся** тем, что тигель выполнен из металла, имеющего высокий коэффициент теплопроводности.

11. Способ по любому одному из пп. 1-10, **отличающийся** тем, что для возбуждения дугового разряда между телом расходуемого электрода и источником заземления к телу расходуемого электрода от источника питания прикладывают напряжение в диапазоне от 35 до 45 В при силе тока в диапазоне от 16000 до 17000 А.

12. Способ по п. 11, **отличающийся** тем, что сила подаваемого тока изменяется менее чем на 1% от среднего значения силы тока, подаваемого на электрод в течение цикла плавки.

13. Способ формования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, включающий формование тела расходуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, содержащего иттрий, кремний, тантал и некоторое количество исходного металла, размещение металлического тела электрода поблизости от тигля, имеющего источник заземления, возбуждение между телом электрода и источником заземления дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавления исходного металла и слоя сплава, образование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка, и формование деформируемого продукта из слитка, **отличающийся** тем, что на тело электрода наносят первый слой сплава толщиной 0,00762-0,0762 см, причем вес первого слоя составляет менее 1% вес. от веса исходного материала, иттрий вводят в него в виде нитрида иттрия, при этом на первый слой наносят второй слой сплавляемых элементов равномерной толщины, а ванну расплавленного металла переме-

(19) UA (11) 39889 (13) C2

шивают одновременно с плавлением тела электрода с нанесенными на него слоями.

14. Способ по п. 13, **отличающийся** тем, что исходный металл выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

15. Способ по п. 14, **отличающийся** тем, что второй слой содержит некоторое количество исходного металла.

16. Способ по любому одному из пп. 13-15, **отличающийся** тем, что для возбуждения дугового разряда между телом расходного электрода и источником заземления к телу расходного электрода от источника питания прикладывают напряжение в диапазоне от 35 до 45 В при силе тока в диапазоне от 16000 до 17000 А.

17. Способ по п. 16, **отличающийся** тем, что силу подаваемого тока изменяют менее чем на 1% от средней силы тока, подаваемого на электрод в процессе цикла плавления.

18. Слиток, содержащий исходный металл и, по меньшей мере, один сплавляемый элемент, выбираемый из группы, состоящей из иттрия, кремния и тантала, **отличающийся** тем, что, по меньшей мере, один сплавляемый элемент равномерно распределяется в слитке, а слиток имеет твердость по Бринеллю более 4,5, причем слиток содержит менее 1% вес. иттрия и кремния, а любое количество присутствующего иттрия вводят в него в форме нитрида иттрия.

19. Слиток по п. 13, **отличающийся** тем, что общий вес исходного материала и сплавляемых элементов находится в диапазоне 22,68-2268 кг.

20. Слиток по п. 18, **отличающийся** тем, что исходный материал выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

21. Слиток по п. 19, содержащий примерно 5-100 весовых частей углерода на миллион, при-

мерно 10-200 весовых частей кислорода на миллион, примерно 5-200 весовых частей азота на миллион, примерно 1-1000 весовых частей кремния на миллион и примерно 1-1000 весовых частей иттрия на миллион.

22. Деформируемый металлический продукт, полученный из слитка, **отличающийся** тем, что его получают из слитка по пп. 18-21.

23. Деформируемый металлический продукт по п. 22, **отличающийся** тем, что он содержит 9-13 весовых частей на миллион углерода, 64-127 весовых частей на миллион кислорода, 9 весовых частей на миллион азота, 4 весовых части на миллион водорода, 1-15 весовых частей на миллион кремния и 5 весовых частей на миллион иттрия.

24. Расходуемый электрод для использования в вакуумном переплаве, состоящий из тела, закрепленного в неэлектропроводном держателе, причем тело имеет продольную ось и поверхность периметра с передней частью тела, отстоящей в осевом направлении от держателя, при этом тело выполнено из электро- и теплопроводного исходного металла, содержащего, по меньшей мере, тантал, и имеет первый слой сплава, содержащий итрий, кремний и тантал, **отличающийся** тем, что он содержит второй слой сплава, нанесенный на первый слой сплава, у которого оба слоя сплава относительно поверхности периметра электрода имеют среднюю толщину в диапазоне 0,00762-0,0762 см, причем первый слой сплава имеет температуру плавления ниже чем температура исходного металла, а вес каждого слоя сплава составляет менее 1% вес. от веса электрода, при этом итрий вводят в них в виде нитрида иттрия.

Настоящее изобретение относится к способу получения сплавов, в частности, к способу плавки с расходным электродом, отличающемуся улучшенными характеристиками плавки и равномерным распределением минимальных количеств испаренного сплавляемого металла по всему деформируемому металлическому продукту.

Получение деформируемых тугоплавких металлических продуктов, содержащих минимальное количество желаемого сплава, известно в области технологии плавки с расходным металлическим электродом. Как правило, стержень или электрод из желаемого исходного материала электрически изолируют в электрододержателе и устанавливают внутри резервуара, способного выдерживать условия высоких температур, которые, как известно, связаны с дуговой плавкой. У основания резервуара располагают катодный источник или выступ (spur), так что, когда к электроду прикладывают некоторое напряжение от внешнего источника питания, происходит электрический разряд, который проходит между заземляющим источником и анодом в передней части тела электрода. Тепло, возникающее при дугообразовании, вызывает плавление электрода, который, в свою очередь, падает в резервуар или тигель. После охлаждения

ванны расплавленного металла его обрабатывают с получением деформируемого продукта.

Если желательно сплавить дополнительные металлы с исходным металлом, то, как известно, надо приварить полосы металла к телу, как указано в патенте США № 4481030. Вместо этого можно использовать множество металлических тел, каждое из которых состоит из желаемого исходного металла. См., например, патент США № 2958913. В случаях, когда сплав крепится к боковой поверхности электрода способом, который вызывает образование выступа, происходит образование дуги из этой точки к стенкам резервуара. В другом случае, полосы сплава, сваренные с боковой поверхностью, также страдают этой проблемой - ввиду более низкого электрического удельного сопротивления сплава, представляющего собой маршрут наиболее низкого электрического сопротивления на "земле". Когда сплав имеет форму приваренных полос, в бок от электрода часто происходит дугообразование, проявляющееся в прерывистом нагреве расплавленного металла и разбрызгивании исходного металла на стенки тигля. Характеристикой таких способов часто является внесение повреждений в стенку резервуара и неравномерное плавление тела электрода.

Еще одна проблема, присущая этим способам, заключается в том, что дугообразование в направлении стенок тигля также вносит загрязнения из расплавленных стенок в слиток.

И еще одна проблема, присущая этим известным способам, заключается в том, что, поскольку процесс плавки неравномерен, цикл плавки прекращается после малого расхода всего тела электрода. Следовательно, неравномерное плавление электрода требует использования больших количеств исходного материала для гарантии формирования желаемого веса слитка.

Были предприняты различные попытки введения в расплав вторичных материалов путем напыления покрытия. См. патент США № 3271828, в котором описан поток покрытия, наносимого напылением на тело электрода.

В процессе других попыток помещали материал желаемого сплава по центру в пределах осевого фитиля в теле электрода, окруженного исходным металлом. См. патент США № 1085951.

Наиболее близким техническим решением, по совокупности существенных признаков и достигаемому результату, является способ формирования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, известный из патента США № 3933474А, (20.01.1976, кл. С22В 4/00).

Известный способ включает формирование тела расходуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, установку металлического тела электрода вблизи от тигля, имеющего заземляющий источник, индуцирование между телом электрода и заземляющим источником дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавки исходного металла и слоя сплава, формирование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка.

Из вышеуказанного источника информации известен также другой вариант реализации способа формирования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, который включает формирование тела расходуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, содержащего иттрий, кремний, тантал и некоторое количество исходного металла, размещение металлического тела электрода поблизости от тигля, имеющего источник заземления, возбуждение между телом электрода и источником заземления дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавления исходного металла и слоя сплава, образование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка, и формирование деформируемого продукта из слитка.

В соответствии с известным решением, согласно патенту США № 3933474А, по меньшей мере, один сплавляемый элемент, выбирается из группы, состоящей из иттрия, кремния и тантала. Далее из слитка получают деформируемый металлический продукт.

И, наконец, из вышеупомянутого патента США № 3933474А известен расходуемый электрод для использования в вакуумном переплаве. Электрод

состоит из тела, закрепленного в неэлектропроводном держателе. Причем тело имеет продольную ось и поверхность периметра с передней частью тела, отстоящей в осевом направлении от держателя. Кроме того, тело выполнено из электро- и теплопроводного исходного металла, содержащего, по меньшей мере, тантал, и имеет первый слой сплава, который содержит иттрий, кремний и тантал.

Ни в одной из этих известных попыток не удавалось удовлетворительно регулировать дугу с получением равномерного плавления тела электрода или достижением равномерного распределения минимальных количеств сплава в большем количестве исходного металла.

В основу изобретения поставлена задача создания способа формирования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, а также получения слитка и деформируемого металлического продукта и, кроме того, расходуемый электрод, которые обеспечили бы равномерное распределение желаемого количества сплава в большем количестве исходного металла одновременно с расплавом тела расходуемого электрода;

создание гладкой дугообразующей поверхности тела электрода, на которой нет выступов, и которая минимизирует дугообразование в направлении боковых стенок тигля; а также

создание средства перемешивания расплавленного сплава с расплавленным исходным материалом без внесения загрязнений из тигля в ванну расплавленного металла.

Способ, обеспечивающий решение этих проблем, должен стать важным шагом вперед в области получения сплавной деформируемой продукции.

Поставленная задача решается тем, что в способе формирования деформируемого металлического продукта из расходуемого электрода, включающем формирование тела расходуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, установку металлического тела электрода вблизи от тигля, имеющего заземляющий источник, индуцирование между телом электрода и заземляющим источником дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавки исходного металла и слоя сплава, формирование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка, и формирование деформируемого продукта из слитка, согласно изобретению, на тело электрода первый слой сплава наносят с равномерной толщиной, а ванну расплавленного металла одновременно перемешивают при плавке тела электрода с нанесенным на него первым слоем сплава.

Кроме того, исходный металл получают электроннолучевой плавкой или химическим осаждением.

Исходный металл выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

На исходный металл осаждают первый слой средней толщины 0,00762-0,0152 см.

Заземляющий источник представляет собой некоторое количество тантала.

Первый слой сплавляемых элементов содержит менее 1 вес.% от веса исходного материала, а указанные элементы дополнительно включают нитрид иттрия, кремний и тантал.

Исходный металл в теле электрода имеет вес в диапазоне примерно 22,68-2268 кг.

Первый слой осаждают на исходный металл плазменным напылением.

Тигель выполнен из металла, имеющего высокий коэффициент теплопроводности.

Для возбуждения дугового разряда между телом расходоуемого электрода и источником заземления к телу расходоуемого электрода от источника питания прикладывают напряжение в диапазоне от 35 до 45 В при силе тока в диапазоне от 16000 до 17000 А.

Сила подаваемого тока изменения менее чем на 1% от среднего значения силы тока, подаваемого на электрод в течение цикла плавки.

Поставленная задача альтернативно решается также тем, что в способе формования деформируемого металлического продукта из расходоуемого электрода, включающем формование тела расходоуемого электрода из исходного металла с нанесением на его поверхность, по меньшей мере, первого слоя сплава, содержащего иттрий, кремний, тантал и некоторое количество исходного металла, размещение металлического тела электрода поблизости от тигля, имеющего источник заземления, возбуждение между телом электрода и источником заземления дугового разряда, создающего температуру, достаточную для достижения плавления исходного металла и слоя сплава, образование в тигле ванны расплавленного металла, который впоследствии затвердевает с образованием слитка, и формование деформируемого продукта из слитка, согласно изобретению, на тело электрода наносят первый слой сплава толщиной 0,00762-0,762 см, причем вес первого слоя составляет менее 1% вес. от веса исходного материала, иттрий вводят в него в виде нитрида иттрия, при этом на первый слой наносят второй слой сплавляемых элементов равномерной толщины, а ванну расплавленного металла перемешивают одновременно с плавлением тела электрода с нанесенными на него слоями.

Кроме того, исходный металл выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

Второй слой содержит некоторое количество исходного металла. Для возбуждения дугового разряда между телом расходоуемого электрода и источником заземления к телу расходоуемого электрода от источника питания прикладывают напряжение в диапазоне от 35 до 45 В при силе тока в диапазоне от 16000 до 17000 А.

Силу подаваемого тока изменяют менее чем на 1% от средней силы тока, подаваемого на электрод в процессе цикла плавления.

Кроме того, поставленная задача решается тем, что в слитке, содержащем исходный металл и, по меньшей мере, один сплавляемый элемент, выбираемый из группы, состоящей из иттрия, кремния и тантала, согласно изобретению, по меньшей мере, один сплавляемый элемент рав-

номерно распределяется в слитке, а слиток имеет твердость по Бринеллю более 4,5, причем слиток содержит менее 1% вес. иттрия и кремния, а любое количество присутствующего иттрия вводят в него в форме нитрида иттрия.

При этом общий вес исходного материала и сплавляемых элементов находится в диапазоне 22,68-2268 кг.

Исходный материал выбирают из группы, состоящей из тантала, ниобия и их сплавов или смесей.

Слиток содержит примерно 5-100 весовых частей углерода на миллион, примерно 10-200 весовых частей кислорода на миллион, примерно 5-200 весовых частей азота на миллион, примерно 1-1000 весовых частей кремния на миллион и примерно 1-1000 весовых частей иттрия на миллион.

Поставленная задача решается также тем, что известный деформируемый металлический продукт, полученный из слитка, согласно изобретению, получают из слитка, описанного выше.

Причем он содержит 9-13 весовых частей на миллион углерода, 64-127 весовых частей на миллион кислорода, 9 весовых частей на миллион азота, 4 весовых части на миллион водорода, 1-15 весовых частей на миллион кремния и 5 весовых частей на миллион иттрия.

И наконец, поставленная задача решается также тем, что расходоуемый электрод для использования в вакуумном переплаве, состоящий из тела, закрепленного в неэлектропроводном держателе, причем тело имеет продольную ось и поверхность периметра с передней частью тела, отстоящей в осевом направлении от держателя, при этом тело выполнено из электро- и теплопроводного исходного металла, содержащего, по меньшей мере, тантал, и имеет первый слой сплава, содержащий иттрий, кремний и тантал, согласно изобретению, содержит второй слой сплава, нанесенный на первый слой сплава, у которого оба слоя сплава относительно поверхности периметра электрода имеют среднюю толщину в диапазоне 0,00762-0,762 см, причем первый слой сплава имеет температуру плавления ниже, чем температура исходного металла, а вес каждого слоя сплава составляет менее 1% вес. от веса электрода, при этом иттрий вводят в них в виде нитрида иттрия.

Соответственно, настоящее изобретение включает в себя способ формования деформируемого металлического продукта из расходоуемого электрода. Исходный металл, включая тантал, ниобий и их сплавы, формуют с образованием расходоуемого электрода и помещают вблизи принимающего тигля. По меньшей мере, один слой сплавляемого элемента (сплавляемых элементов) наносят на поверхность электрода с помощью средства, обеспечивающего равномерную толщину.

У основания тигля предусмотрен заземляющий источник. После помещения тела электрода и тигля в вакуум, к телу электрода подводят достаточную мощность, чтобы вызвать дугообразование между заземляющим источником и передней частью электрода, вызывающее расплавление слоя сплава и разжижение его в тигле. Равномер-

ный слой на теле электрода является средством внесения минимальных количеств легирующих элементов в большое количество металла. Надлежащее дугообразование облегчает равномерное и надлежащее перемешивание сплавляемого элемента (сплавляемых элементов) и исходного материала в тигле.

Когда расходуется тело электрода, расплавленный металл получает возможность затвердевать с образованием слитка. Затем слиток обрабатывают термомеханически с образованием деформируемого продукта.

В другом варианте воплощения второй слой равномерной толщины наносят поверх первого слоя. Хотя связь с какой-либо конкретной теорией и не предполагается, авторы изобретения считают, что высокие температуры, связанные с дугообразованием, будут испарять сплавляемые элементы, которые имеют более низкие температуры плавления, чем исходные металлы. Конечный деформируемый продукт, сформованный в результате этого, имеет более низкую концентрацию желаемого сплава. Покрывая первый слой вторым равномерным слоем исходного металла, можно уменьшить испарение сплава.

Одним отличительным преимуществом настоящего изобретения является то, что нанесение равномерных слоев покрытий способствует дугообразованию между заземляющим источником и передней частью, а не боковыми стенками тигля, уменьшая, таким образом, повреждение тигля, загрязнение слитка за счет расплавления тигля и время простоя системы.

Другое преимущество настоящего изобретения состоит в том, что, обеспечивая равномерное дугообразование между передней частью электрода и катодом, минимизируют непреднамеренное осаждение расплавленного материала на стенках тигля. В случае воплощения известных способов приподнятый уровень расплавленного металла затвердевает вокруг осажденного материала, образуя области шероховатой поверхности на боковой поверхности слитка. Поскольку эти области обычно сошлифовывают, соответствующее количество дорогостоящего материала слитка теряется.

И еще одно преимущество настоящего изобретения заключается в том, что смешивающее воздействие, стимулированное надлежащим дугообразованием, способствует перемешиванию сплавляемых элементов во всей массе расплавленного металла. Следовательно, при воплощении предлагаемого способа получают продукт, отличающийся равномерным распределением минимальных количеств желаемого сплавляемого элемента в большем количестве исходного металла.

Другие технические задачи, отличительные признаки и преимущества станут очевидны специалистам в данной области техники из рассмотрения нижеследующих чертежей совместно с подробным описанием предпочтительных вариантов воплощения и формулой изобретения, причем:

Фиг. 1 - вид в разрезе вдоль продольной оси 3 известного расходного электрода и тигля;

Фиг. 2 - перспективное изображение предлагаемого электрода, если смотреть от линии А-А, показанной на фиг. 1;

Фиг. 3 - перспективное изображение, аналогичное фиг. 2, другого варианта воплощения настоящего изобретения;

Фиг. 4А и 4В - полосовые диаграммы потребления мощности во время дуговой плавки электрода, представленного на фиг. 1;

Фиг. 5А, 5В, 6А и 6В - другие полосовые диаграммы, аналогичные представленным на фиг. 4А и 4В, отображающие повышение устойчивости дуги в случае предлагаемого электрода, показанного на фиг. 2 и в другом варианте на фиг. 3;

Фиг. 7 - микрофотография зернистой структуры деформируемого металлического продукта, сформованного известным способом, обсуждаемым ниже в примере 1; и

Фиг. 8А и 8В - микрофотографии деформируемого металлического продукта, соответствующего настоящему изобретению, полученного с использованием расходного металлического электрода, полученного в соответствии с процедурой, указанной в примере 2 и обсуждаемой ниже.

Обращаясь к фиг. 1, отмечаем, что тело 1 расходного металлического электрода, известное в данной области техники, получено в соответствии с примером 1 и показано на этом чертеже. Тело 1 симметрично ориентировано вокруг воображаемой продольной оси 2 и состоит из исходного металла 3. Исходный материал получен либо химическим осаждением, либо электроннолучевой плавкой с последующими операциями прессования и экструзии, известными в данной области техники. Предпочтительно, тело 1 является цилиндрическим по форме, с поверхностью 4 периметра и передней частью 5. В соответствии с одним известным способом, прутки 6 сплава закреплены по периметру тела 1 известными способами, включая сварку. Тело электрически изолировано и расположено с помощью кронштейна 7 рядом с тиглем 8 так, что когда прикладывают заряд к телу 1 от источника питания 9, происходит дугообразование между передней частью 5 и заземляющим источником 10 у дна тигля 8.

Тигель 8 окружен рубашкой охлаждения 11, через которую осуществляют циркуляцию воды известными средствами для поддержания желаемой температуры. У дна тигля расположена плита 12, предпочтительно выполненная из такого же материала, как исходный материал. Заземляющий источник обычно выполняют в виде малого количества исходного металла, такого, как тантал, и прикрепляют его к плите 12. Химический состав тигля 8 известен в данной области техники и может включать ряд металлов, имеющих высокие коэффициенты теплопроводности.

Перед созданием дуги, из вакуумного корпуса (не показан), вмещающего и тело 1 электрода, и тигель 8, откачивают воздух путем понижения давления или заполнения таким инертным газом, как аргон.

Источник питания 9 способен подавать соответствующий заряд на тело 1 электрода, и этот источник питания можно задействовать вручную или с помощью управляющего механизма - с целью непрерывной обработки. Использованию ис-

точника питания переменного тока присущ циклический характер дуги, т.е. гашение и зажигание дуги с каждым циклом напряжения. Поскольку плазма, образующаяся в зоне дуговой плавки, быстрее рассеивается в условиях вакуума, поддержание непрерывной дуги весьма желательно, чтобы гарантировать равномерную плавку.

Известно также, что потребление мощности на источнике питания является функцией диаметра "D" электрода и плазмогенерирующей способности "P" исходного материала электрода, как можно увидеть из формулы:

$$D = 12,13 - 1,93 P.$$

Значения P приведены в технической литературе и известны специалистам в данной области техники.

Известные способы, которые приводят к неравномерной плавке электрода, сказываются в последующей дестабилизации дуги и в неправильной кривой в зоне плавки. Хотя точное значение требуемой мощности зависит от используемого заряда и температур плавления исходного металла 3 расходуемого электрода, при воплощении предлагаемого изобретения использовали ток величиной около 16000-185000 А при напряжении менее 60 В.

В процессе работы температура дуги инициирует непрерывную плавку тела 1, происходящую в передней части 5. Исходный материал 3 образует ванну расплавленного металла (не показана) в тигле 8 за счет силы тяжести. Ванне расплавленного металла дают остыть в тигле, оставляя его в условиях вакуума. Затем металл механически обрабатывают перед тем, как подвергнуть воздействию температур обжига в диапазоне, примерно, от 1000°C до 1500°C и осуществить формование с образованием желаемого деформируемого продукта. Методология применения расходуемого электрода обладает преимуществом обеспечения возможности формования больших слитков, таких, как слитки, вес исходного металла в которых достигает 2268 кг (5000 фунтов).

На фиг. 2 показан один вариант воплощения настоящего изобретения. Тело 1 расходуемого электрода состоит из исходного материала, который представляет собой тугоплавкий металл и предпочтительно - тантал, ниобий или их сплавы. По меньшей мере, один слой 14 сплава равномерно осажден на поверхность тела 1 способами, известными в данной области техники. Предпочтительно, слой осаждают плазменным напылением на поверхность 4 периметра тела электрода в соответствии с процедурой, указанной в примере 2 и обсуждаемой ниже. В другом варианте воплощения слой можно осадить способами гальваностегии. Термин "равномерная толщина" будет определен ниже как средняя толщина в диапазоне 0,00762-0,0762 см (0,003-0,030 дюйма). Меньшая толщина может привести к образованию неудовлетворительного слоя на всей поверхности, а большая толщина может привести к недостаточному сцеплению с поверхностью электрода. Хотя термин "сплав" здесь преимущественно рассматривается как образование, включающее в себя два или более металлов, которые химически

сплавлены с исходным металлом с образованием нового металла, при описании изобретения также предполагается, что этот термин будет относиться и к единственному металлу, такому как тантал. Предпочтительно, первый слой 14 сплава содержит достаточные количества, чтобы в результате менее чем 2000 частей нитрида иттрия и кремния на миллион было в слитке.

Источник питания 9, имеющий мощность, обеспечивающую подачу напряжения 60 В или менее при токе менее 20000 А, предусматривается в предлагаемом техническом решении для плавки исходного металла 5, который представляет собой тантал, и первого слоя 14 сплава.

Авторы изобретения обнаружили, что путем нанесения равномерного покрытия на боковую поверхность тела 1 электрода получают подходящую сфокусированную дугу, при заземляющем источнике 10, который способствует перемещению ванны расплавленного металла с одновременным добавлением непрерывного потока исходного металла и первого сплава в ванну расплавленного металла.

Обращаясь к фиг. 3, отмечаем, что здесь изображен другой вариант воплощения расходуемого электрода, при котором он получен согласно процедуре, указанной в примере 3. Второй слой 15 сплава наносили на поверхность 4 по ее периметру до достижения равномерной толщины. Как указано выше, авторы изобретения выдвигают теоретическое положение о том, что нанесение второго слоя дополнительно снижает неустойчивость при дугообразовании. Второй слой сплава также может привести к улучшенной зернистой структуре, благодаря более равномерному распределению сплавляемых элементов в слитке.

Материал второго слоя, предпочтительно, идентичен или аналогичен исходному металлу. В целях упрощения использовали тантал и в качестве исходного металла, и в качестве покрытия второго слоя.

Обращаясь к фиг. 4А и 4В, отмечаем, что здесь представлены две полосовые диаграммы, иллюстрирующие требования к напряжению и силе тока в случае известного расходуемого электрода, изображенного на фиг. 1, при использовании тантала в качестве исходного материала. Как можно легко заметить, был применен средний заряд 18251 А и было примерно среднее напряжение 46 В. Посредством приведенных кривых продемонстрировано, что отклонение напряжения от среднего значения составляло около 4,5 В. Очевидно, что дорогостоящее замыкание стенки тигля привело к тому, что поверхность слитка оказалась шероховатой, а выход годной продукции после механической обработки слитка составил 89% веса отвержденного слитка. Достигнутая максимальная скорость плавления составляла 14,5 кг (32 фунта) в минуту. Авторы изобретения полагают, что неустойчивое дугообразование вызвано наличием полос сплава, приваренных по периметру поверхности расходуемого электрода и представляющих собой маршрут наиболее низкого электрического сопротивления на "землю".

Обращаясь к фиг. 5А и В, отмечаем, что здесь представлены две полосовые диаграммы, иллюстрирующие напряжение и силу тока в случае

расходуемого электрода, показанного на фиг. 2. Как обсуждается ниже в примере 2, эталонную смесь сплава кремния, нитрида иттрия и тантала наносили путем покрытия напылением до толщины около 0,0762 см (0,030 дюйма). Использовали пониженные уровни и среднего напряжения - 41 В, и среднего тока - 16707 А. Были также достигнуты стандартные отклонения напряжения - 4,44 В - и тока - 116 А. Это составляет снижение в 12% от среднего значения напряжения в вольтах и снижение в 8% силы тока, требуемых для плавки электрода.

Для общего веса слитка 1740,4 кг (3837 фунтов) была достигнута повышенная максимальная скорость плавки 20,9 кг (46 фунтов) в минуту. Это представляет собой увеличение скорости плавки по сравнению с электродом, показанным на фиг. 4, примерно на 43%. Надлежащее дугообразование от передней части электрода привело к потребности механической обработки в уменьшенном объеме, требуемой для поверхности слитка, и конечному выходу годной продукции по весу в размере 93,6% веса отвержденного слитка.

Обращаясь теперь к фиг. 6А и 6В, отмечает, что здесь представлены полосовые диаграммы использования мощности для показанного на фиг. 3 расходуемого электрода с покрытием в два слоя. Повышение устойчивости дуги по сравнению с электродом, показанным на фиг. 3, выразившееся в возникающем при дугообразовании стандартном отклонении в 44% от среднего напряжения 41 В, было достигнуто за счет применения второго слоя 15. Кроме того, авторы изобретения обнаружили, что нанесение второго слоя 15 на расходуемый электрод 1 также приводит к предельному повышению скорости плавления величиной около 4% по сравнению со скоростью плавки в случае показанного на фиг. 2 электрода с покрытием в один слой.

Обращаясь к фиг. 7, отмечаем, что здесь показана микрофотография зернистой структуры слитка, отожженного в соответствии с процедурой, о которой идет речь в примере 1. Очевидны и большой размер зерен, и незавершенный отжиг.

Авторы изобретения полагают, что характеристика равномерного дугообразования электродов, о которых идет речь в примерах 2 и 3, облегчает перемешивание и равномерное распределение сплава в ванне расплавленного слитка. Установлено, что наличие некоторых количеств кремния и нитрида иттрия в матрице тантала закрепляет границы зерен, препятствуя тем самым росту зерен в случае воздействия температур отжига. (См. патент США № 5171379, целиком переуступленный владельцу настоящего изобретения, Кабот Корпорейшн). Фиг. 8А и 8В иллюстрируют отожженный материал слитков, полученных с помощью расходуемых электродов в соответствии с примером 2. Совершенно очевидна однородная зернистая структура. Это является отличием от увеличенного и более равномерного размера зерен, показанных на фиг. 7.

Вышеуказанные технические задачи, преимущества и описания подтверждаются нижеследующими примерами, не носящими ограничительный характер.

Пример 1.

Тело расходуемого металлического электрода весом 1523 кг (3357 фунтов) получали, подвергая порошок слитка тантала прессованию и экструзии известными способами с целью получения сегмента электрода, имеющего диаметр около 22,86 см (9 дюймов) (для слитка диаметром 33 см (13 дюймов)). Тело электрода было в основном цилиндрическим по форме, с поверхностью периметра и передней частью. В соответствии с известными способами, по периметру электрода были приварены расположенные прямоугольником прутки сплава. Прутки имели общее содержание сплава менее 2000 частей на миллион, при наличии около 400 частей нитрида иттрия на миллион и 100 частей кремния на миллион. Тело электрически изолировали и устанавливали с помощью опорных элементов в тигле и печи. Перед образованием дуги, из корпуса печи, вмещающего и тело электрода, и тигель, откачивали воздух путем понижения давления примерно до 0,267-1,067 Па ($2 \cdot 10^{-3}$ - $8 \cdot 10^{-3}$ торр). Вместо этого, воздух можно заменить таким инертным газом, как аргон.

После взвешивания электрода к электроду прикладывали пусковой ток в диапазоне 2000-2500 кА, и происходил пробой дугой диаметром около 1,27 см (0,5 дюйма). В результате дугообразования между передней частью (электрода - прим. перев.) и заземляющим источником на дне тигля образовывалась небольшая ванна расплавленного металла в принимающем тигле на плите из тантала весом около 138,8 кг (306 фунтов). Перемешивание ванны расплавленного металла происходило в результате перемещения дуги над поверхностью передней части электрода. Заземляющий источник был выполнен из малого количества исходного металла.

После прохождения 56 минут, характеристики тока расплава стабилизировались на пологом участке, соответствующем значению около 18500 А. Задействовали механизм непрерывного привода электрода, который поддерживал переднюю часть электрода на расстоянии около 1,27 см (0,5 дюйма) от поверхности ванны расплавленного металла. Напряжение изменялось при среднем значении 46,13 В до максимального напряжения 55,30 В и минимального напряжения 35,40 В за период плавки 114 минут.

Характер источника питания, в общем, известен специалистам в данной области техники и отличается тем, что источник способен подавать надлежащий заряд 20000 А или менее при напряжении около 60 В.

В процессе работы температура дуги способствовала плавке электрода, происходившей в его передней части. Расплавленный исходный металл собирался в тигле под действием силы тяжести. Ванне расплавленного металла затем давали остыть при температуре окружающей среды перед тем, как отрезать плиту от слитка. Слиток весил 1336,75 кг (2947 фунтов). Затем слиток очищали и подвергали его поверхность механической обработке с целью обеспечения гладкости. Полученный окончательный вес был равен 1190,2 кг (2624 фунта), что составляет около 89% отвержденного слитка.

Слиток имел величину твердости по Бринеллю в диапазоне 3,8-4,5. Затем слиток перерабатывали в желаемый деформируемый продукт.

В одном варианте аналитические параметры образцов, взятых из деформируемого изделия, показали наличие 9-13 весовых частей углерода на миллион, 64-127 весовых частей кислорода на миллион, 9 весовых частей азота на миллион, 4 весовых части водорода на миллион, 1-15 весовых частей кремния на миллион и около 5 весовых частей иттрия на миллион.

Процедура определения твердости.

Деформируемый продукт затем разрезали в радиальном направлении и брали образцы поперек диаметра сечения. Величины твердости по Роквеллу по шкале В получали, используя методологию, которая соответствует документу E-18 "Стандартные методы испытаний" Американского общества по испытанию материалов (ATM).

Пример 2.

Посредством способа, указанного в примере 1, получили расходный электрод, имеющий общий вес 1339,5 кг (2953 фунта). Эталонную смесь сплавляемых металлов и порошка тантала готовили, смешивая 0,58 кг (1,28 фунта) кремния, 0,14 кг (0,32 фунта) нитрида иттрия и 2,5 кг (5,59 фунта) тантала. Перед нанесением смеси сплава на слиток, этот слиток очищали и подвергали пескоструйной обработке. Затем слиток центровали на токарном станке, который перемещал плазменную пушку в осевом направлении во время напыления. После этого методом плазменного напыления наносили эталонную смесь на поверхность тела электрода в защитной атмосфере аргона. Толщина покрытия составляла, примерно, от 0,0127 см до 0,0762 см (0,005-0,030 дюйма).

Затем тело электрода с нанесенным покрытием помещали в вакуумную дуговую электропечь для переплавки, где тело электрода закрепляли с помощью неэлектропроводного электрододержателя и подключали к источнику исходного заряда величиной примерно 2000-2500 А. Устойчивого значения силы тока 16707 А достигали через 17 минут. Применяли напряжение средней величины 40,80 В с максимумом 49,40 В и минимумом

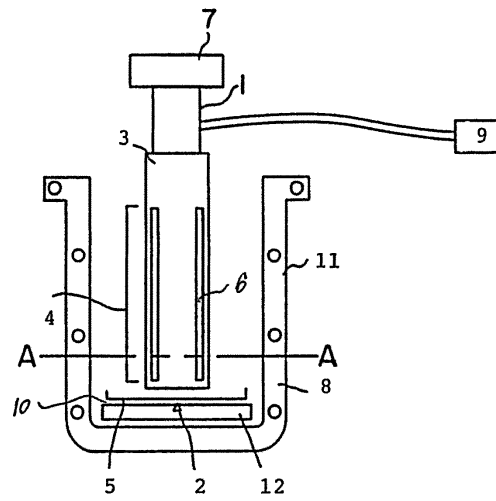
32,10 В. Получающийся в результате воздействия температуры возникающей дуги расплавленный металл под действием силы тяжести попадал в тигель, где отверждался. После отрезания плиты слиток весил 981,6 кг (2164 фунта). Затем слиток очищали и механически обрабатывали поверхность до достижения гладкости, вследствие чего его окончательный вес составлял 918,5 кг (2025 фунтов), или 93,6% исходного веса отвержденного слитка.

Слиток имел твердость по Бринеллю 4,5-4,7. Затем (после определения твердости - прим. перев.) слиток перерабатывали в деформируемые продукты.

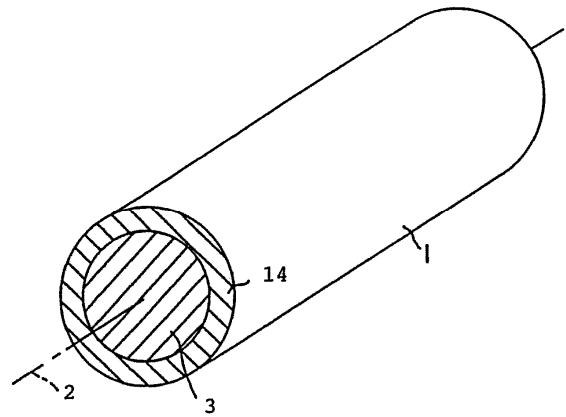
Пример 3.

Посредством способа, указанного в примере 2, получили расходный электрод, имеющий вес 1595,7 кг (3518 фунтов). Эталонную смесь сплавляемых металлов и порошка тантала готовили, смешивая 0,58 кг (1,28 фунта) кремния, 0,14 кг (0,32 фунта) нитрида иттрия и 2,53 кг (5,59 фунта) тантала. Затем методом плазменного напыления наносили эталонную смесь на поверхность тела электрода в защитной атмосфере аргона, в соответствии со способом, указанным в примере 2. Толщина покрытия составляла, примерно, от 0,0127 см до 0,0762 см (0,005-0,030 дюйма). Второй слой порошка тантала наносили методом плазменного напыления до достижения толщины 0,0127-0,0762 см (0,005-0,030 дюйма). Потом тело электрода с двумя слоями покрытия помещали в вакуумную дуговую электропечь для переплавки, где тело электрода крепили с помощью неэлектропроводного электрододержателя и подключали к источнику исходного заряда величиной примерно 2000-2500 А. Устойчивого значения силы тока 16740 А достигали при среднем напряжении 42,34 В. После механического удаления неровностей поверхности и отделения плиты слиток имел окончательный вес около 1428,80 кг (3150 фунтов) или 92,5% веса отвержденного слитка.

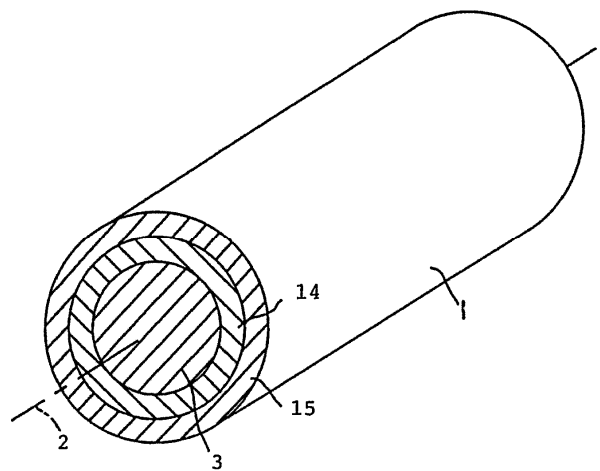
Слиток имел величину твердости по Бринеллю 4,6-4,8. Затем слиток перерабатывали в деформируемые продукты.



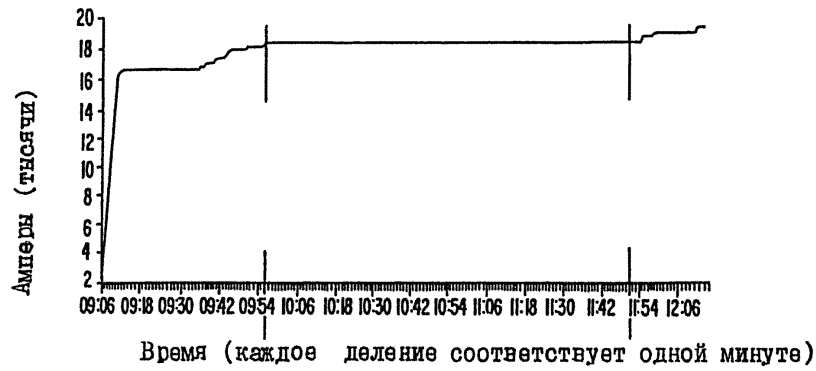
Фиг. 1



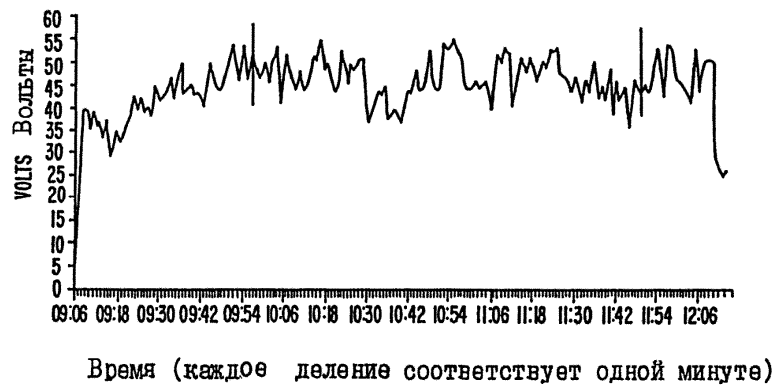
Фиг. 2



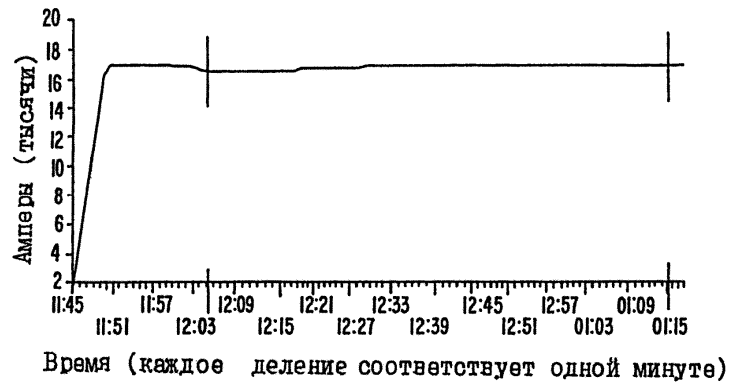
Фиг. 3



Фиг. 4А



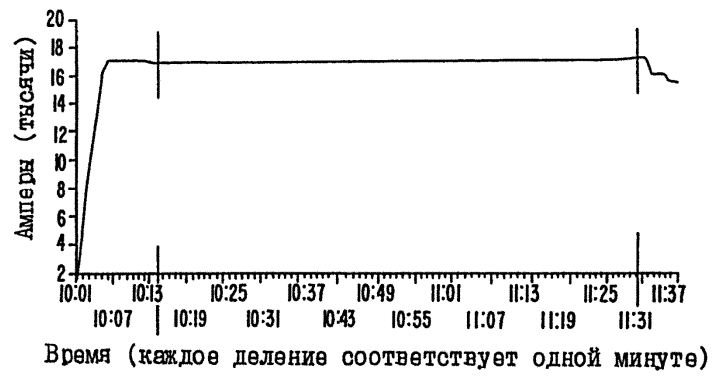
Фиг. 4В



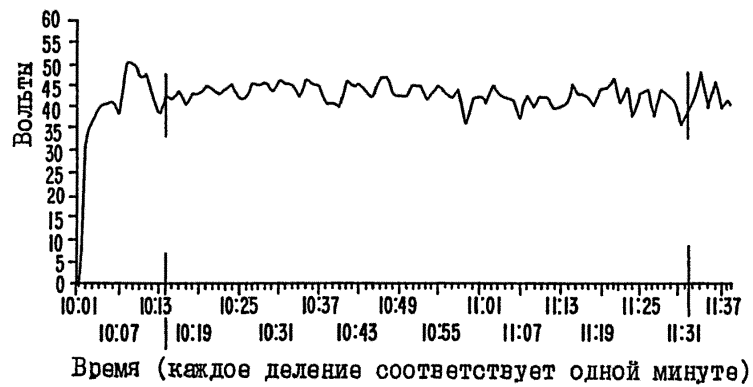
Фиг. 5А



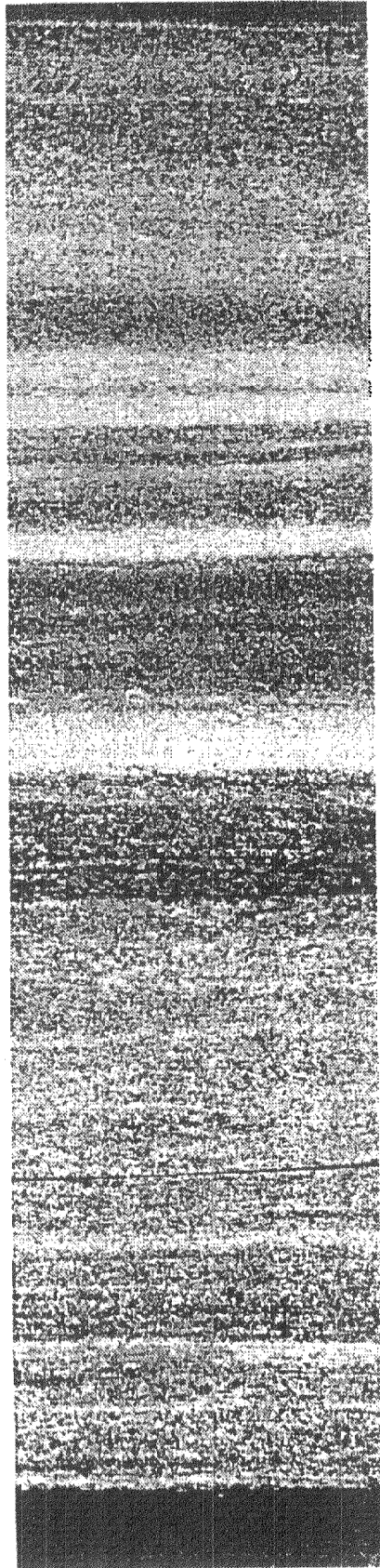
Фиг. 5В



Фиг. 6А



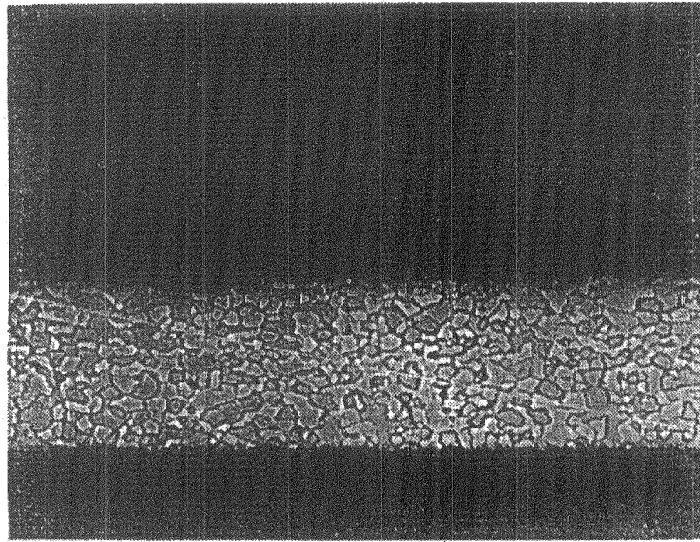
Фиг. 6В



50X

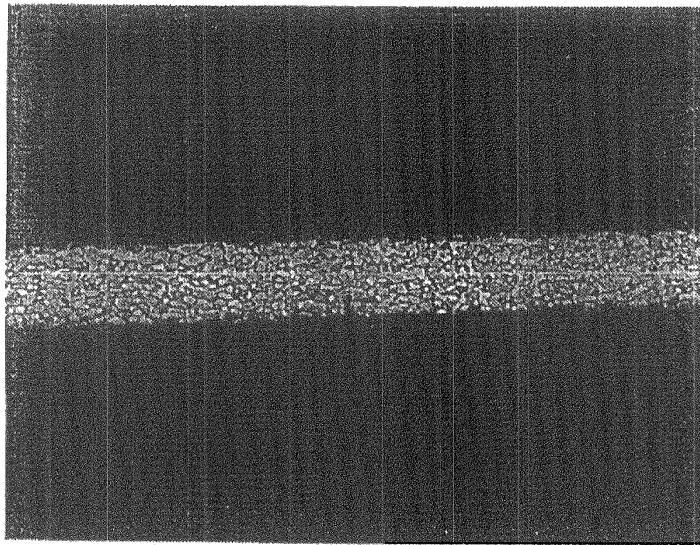
увеличение

Фиг. 7



Увеличение 200X

Фиг. 8А



Увеличение 100X

Фиг. 8В

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
