



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003122340/02, 17.12.2001

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.12.2001

(30) Конвенционный приоритет:
18.12.2000 IT RM2000A000676

(43) Дата публикации заявки: 10.01.2005

(45) Опубликовано: 20.10.2006 Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: EP 0390160 A1, 03.10.1990. RU 2020164
C1, 30.09.1994. RU 2038389 C1, 27.06.1995. RU
2105074 C1, 20.02.1998. RU 2142020 C1,
27.11.1999.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
18.07.2003

(86) Заявка РСТ:
EP 01/14880 (17.12.2001)

(87) Публикация РСТ:
WO 02/50318 (27.06.2002)

Адрес для переписки:
103735, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", пат.пов. О.Ф.Ивановой

(72) Автор(ы):

СИКАЛЕ` Стефано (ИТ),
ФОРТУНАТИ Стефано (ИТ),
АББРУЦЦЕЗЕ Джузеппе (ИТ)

(73) Патентообладатель(и):

ТИССЕНКРУПП АЧЧАИ СПЕЧАЛИ ТЕРНИ С.П.А.
(ИТ)

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ
ЗЕРНАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу производства
полос электротехнической стали. Сталь,
содержащую элементы, способствующие
кристаллизации сульфидов и/или нитридов для
задержки роста зерен, непрерывно разливают в
полосу, прокатывают при температуре от 1250 до
1000°C, охлаждают и наматывают при температуре

ниже 780°C, если используют сульфиды, или при
температуре ниже 600°C, если используют нитриды
или нитриды с сульфидами. После намотки полосу
отжигают, подвергают холодной прокатке и
обезуглероживающему отжигу. Конечный продукт,
полученный таким образом, обладает
исключительными и постоянными магнитными
свойствами. 13 з.п. ф-лы, 11 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2003122340/02, 17.12.2001**

(24) Effective date for property rights: **17.12.2001**

(30) Priority:
18.12.2000 IT RM2000A000676

(43) Application published: **10.01.2005**

(45) Date of publication: **20.10.2006 Bull. 29**

(85) Commencement of national phase: **18.07.2003**

(86) PCT application:
EP 01/14880 (17.12.2001)

(87) PCT publication:
WO 02/50318 (27.06.2002)

Mail address:
**103735, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", pat.pov. O.F.Ivanovoj**

(72) Inventor(s):

**SIKALE` Stefano (IT),
FORTUNATI Stefano (IT),
ABBRUTsTsEZE Dzhuzeppe (IT)**

(73) Proprietor(s):

**TISSENKRUPP AChChAI SPEChALI TERNI S.P.A.
(IT)**

(54) **METHOD OF PRODUCTION OF THE ELECTRIC STEEL WITH THE ORIENTATED GRAINS**

(57) Abstract:

FIELD: electrometallurgy; methods of production of the electric steel strips.

SUBSTANCE: the invention is pertaining to the field of electrometallurgy, in particular, to the method of production of the electric steel strips. The steel containing the components making for crystallization of sulfides and-or nitrides to delay the growth of the grains is continuously casting into the strips rolled at the temperature from 1250 up to 1000°C, cooled and

coiled at the temperature below 780°C - if use sulfides, or at the temperature below 600°C - if use nitrides or nitrides with sulfides. After coiling the strips are annealed, subjected to cold rolling and to the decarburizing annealing. The final product produced this way possesses the exclusive and constant magnetic properties.

EFFECT: the invention ensures production of the steel strips possessing the exclusive and constant magnetic properties.

14 cl, 6 ex, 11 tbl

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу производства электротехнической стали с ориентированными зернами и, более конкретно, к способу, в котором полосу, непосредственно непрерывно отливаемую из расплавленной стали типа Fe-3%Si, подвергают горячей прокатке.

Уровень техники

Производство электротехнической стали с ориентированными зернами основано на металлургическом явлении, называемом вторичной рекристаллизацией, в котором первично рекристаллизованную полосу подвергают после деформации отжигу, в ходе которого путем медленного нагрева ее температуру поднимают до уровня приблизительно 1200°C. В ходе такого нагрева при температуре в диапазоне от 900 до 1100°C зерна, имеющие ориентацию, близкую к {110} <001> (зерна Госса) (Goss grains), которые в первично рекристаллизованной полосе составляют меньшинство, проявляют аномальный рост за счет других кристаллов и становятся единственными зернами, присутствующими в микроструктуре, с макроскопическими размерами 5 - 20 мм.

Механизм, на котором основывается вторичная рекристаллизация, является достаточно сложным. Эксперты соглашались в том, что вторичная рекристаллизация представляет собой результат хрупкого равновесия трех факторов: средний диаметр первичных зерен (влияет на склонность кристаллов к росту), текстура полосы в обезуглероженном состоянии (которая может составлять незначительное преимущество для роста кристаллов Госса) и наличие равномерно распределенных мелких вторых фаз (которые замедляют тенденцию роста всех кристаллов, давая возможность зернам Госса, присутствующим в качестве меньшинства в первично рекристаллизованной полосе, получить преимущество в отношении размеров). Таким образом, при более высоких температурах 900 - 1100°C, при которых вторые фазы растворяются в кристаллической решетке, давая, таким образом, возможность свободного роста зерен, зерна Госса, которые несколько крупнее, чем другие, могут быстро расти за счет последних.

В традиционных технологиях производства сплава Fe-3%Si с ориентированными зернами (Takahashi, Harase: Mat.Sci. Forum Voll. 204-206 (1966), pp. 143-154; Fortunati, Cicalé, Abbruzzese: Proc. 3rd Int. Conf. On Grain Growth, TMS Publ. 1998, p. 409) требуемую микроструктуру и текстуру продукта получают с помощью способа, предусматривающего использование следующей последовательности этапов: отливка пластины, горячая прокатка, холодная прокатка, отжиг для рекристаллизации. Требуемое распределение вторых фаз получают путем нагрева пластины до высокой температуры (выше 1350°C) для растворения их и повторной кристаллизации в форме мелких частиц в ходе этапа горячей прокатки и во время последующего отжига полосы, прошедшей горячую прокатку.

Вторые фазы, обычно используемые как ингибиторы роста зерен, в основном, бывают двух типов: (i) сульфиды и/или селениды марганца, меди или их смеси и (ii) нитриды алюминия, одни или в комбинации с вышеуказанными сульфидами и/или селенидами.

В известном уровне техники в области производства электротехнической стали с ориентированными зернами в некоторых патентах (EP 0540405, EP 0390160) описаны способы производства, при которых электротехническую сталь с ориентированными зернами получают с помощью вторичной рекристаллизации, начиная с непосредственно отливаемой полосы (отливка в полосу), а не с ленты, прошедшей горячую прокатку. Технология такого вида со всей очевидностью позволяет получить существенную экономию затрат на производство благодаря упрощению производственного цикла. Однако из-за сложности механизма вторичной рекристаллизации для получения продукта с хорошими магнитными характеристиками требуется использовать очень строгий контроль над параметрами процесса, начиная от разлива стали до конечного отжига.

В европейском патенте EP 0540405 описано, что для обеспечения хорошего качества продукта после вторичной рекристаллизации необходимо формировать затвердевший наружный слой зерен полосы, имеющих ориентацию {110} <001>, который получают с

помощью быстрого охлаждения затвердевшего наружного слоя, находящегося в контакте с литьевыми валками, температура которых ниже 400°C.

В европейском патенте EP 0390160 описано, что для обеспечения хорошего качества продукта после вторичной рекристаллизации необходимо осуществлять управление
5 охлаждением полосы на первом этапе со скоростью охлаждения меньшей, чем 10°C/с до температуры 1300°C и затем со скоростью охлаждения более 10°C/с в диапазоне температур от 1300 до 900°C. Благодаря медленному охлаждению до температуры 1300°C предпочтительно образуется случайная текстура отливаемой полосы, что улучшает
10 формирование требуемых зерен с ориентацией {110} <001>, в то время как быстрое охлаждение в диапазоне температур от 1300 до 900°C способствует формированию мелких вторых фаз, которые могут действовать как ингибиторы в ходе вторичной рекристаллизации.

Авторы настоящего изобретения специально изучили производство электротехнической стали способом разливки в полосу и нашли альтернативное решение в отношении
15 вышеуказанных патентов, позволяющее обеспечить производство стали Fe-Si с ориентированными зернами с очень высоким качеством. В этом новом способе, объекте настоящего изобретения, легко осуществляется управление в промышленном масштабе, и он позволяет получить продукт с хорошим постоянно воспроизводимым качеством.

Сущность изобретения

Авторы настоящего изобретения довели до совершенства способ, который представляет собой объект настоящего изобретения. Способ производства полос электротехнической стали с ориентированными зернами, согласно изобретению, включает разливку стали, содержащей 2,5-3,5 мас.% кремния, до 0,1 мас.% углерода и элементы, способствующие
25 формированию мелких кристаллов вторых фаз сульфидов/селенидов и/или нитридов, используемых в качестве ингибиторов роста зерен, железа и другие элементы, не существенные для конечного качества продукта, в полосу толщиной 1,5-5 мм так, что общее содержание кислорода в полосе после удаления поверхностной окалины составляет менее 0,003 мас.%, горячую прокатку полосы, выходящей из разливочной машины, при температуре от 1000 до 1250°C со степенью обжатия от 15 до 50%, охлаждение, намотку
30 полосы, прошедшей горячую прокатку, при температуре $T_{\max}$ 780°C или ниже, которая является функцией выбранных ингибиторов, необязательный отжиг полосы, прошедшей горячее деформирование, холодную прокатку указанной полосы, не обязательно в два этапа с промежуточным отжигом со степенью обжатия на последнем этапе от 50 до 93%,
35 отжиг для обезуглероживания, не обязательно азотирование, покрытие обезуглероженной полосы калийным слоем на основе MgO и отжиг для вторичной рекристаллизации, нанесение изолирующего и, возможно, стягивающего покрытия.

Разливку стали в полосу осуществляют с использованием двух охлаждаемых валков, вращающихся в противоположных направлениях.

Сульфиды/селениды выбирают из сульфидов/селенидов, содержащих медь и/или марганец, а нитриды выбирают из нитридов, содержащих алюминий.

Далее, элементы для кристаллизации вторых фаз сульфидов/селенидов выбирают из группы, содержащей 0,0050-0,0300 мас.% серы + (16/39) селен, 0,04-0,2 мас.% марганца, менее 0,3 мас.% меди, и полосу после горячей прокатки наматывают при температуре ниже 780°C, при этом полосу после намотки отжигают, закаляют, протравливают и подвергают
45 холодной прокатке, возможно, за два этапа с промежуточным отжигом на толщину от 0,15 до 0,5 мм.

Элементы для кристаллизации вторых фаз нитридов выбирают из группы, включающей 0,006-0,01 мас.% азота и 0,02-0,04 мас.% алюминия, и полосу после горячей прокатки
50 наматывают при температуре ниже 600°C, при этом полосу после намотки отжигают при температуре от 800 до 1150°C и закаляют. Затем закаленную полосу подвергают холодной прокатке на толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, возможно за два этапа с промежуточным отжигом, со степенью обжатия при последней прокатке, составляющей от

60 до 93%.

Предпочтительно элементы, добавляемые для кристаллизации вторых фаз, выбирать из группы, содержащей: 0,005-0,025 мас.% серы + (16/39) селен, 0,04-0,2 мас.% марганца, менее 0,3 мас.% меди, 0,006-0,01 мас.% азота, 0,02-0,04 мас.% алюминия, и полосу

5 после горячей прокатки (охлаждают) наматывают при температуре ниже 600°C.

Полосу разматывают и отжигают при температуре от 800 до 1150°C и затем закаливают.

После закаливания полосу подвергают холодной прокатке на толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, возможно, в два этапа с промежуточным отжигом со степенью обжатия при

последней прокатке, составляющей от 60 до 93%.

10 Не менее предпочтительно в состав стали добавлять, по меньшей мере, один элемент, выбранный из группы: ниобий, ванадий, титан, хром, цирконий и церий.

Рекомендуется после горячей прокатки осуществлять намотку полосы при температуре, составляющей от 600 до 780°C, затем проводить отжиг при температуре от 800 до 1150°C,

15 холодную прокатку необязательно за два этапа с промежуточным отжигом на толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, со степенью обжатия при последней прокатке от 60 до 93%, отжиг для обезуглероживания и азотирование путем добавления аммиака в атмосферу печи.

Такая реализация способа позволяет получать конечный продукт, обладающий превосходными и постоянно воспроизводимыми магнитными характеристиками, в

20 комбинации с последующей термомеханической обработкой, более подробно описанной в следующем ниже описании, но, в любом случае, аналогичной обработке, используемой в традиционных способах.

Другие цели настоящего изобретения будут понятны из следующего описания.

Подробное описание изобретения

25 Авторы настоящего изобретения определили, что непрерывная горячая прокатка, следующая непосредственно после отливки, в ходе охлаждения отливаемой полосы при температуре в диапазоне от 1250 до 1000°C является достаточной для получения продукта, имеющего стабильно хорошее качество. Считается, что существуют две причины такого хорошего результата. Горячая прокатка начинается при температуре, при которой

30 еще не началась кристаллизация вторых фаз, благодаря чему повышается плотность дислокации в полосе, существенно увеличивается количество мест зарождения центров кристаллизации (нуклеации) вторых фаз, что, таким образом, способствует образованию более мелких кристаллов. Горячая прокатка, кроме того, помимо обжатия по толщине приблизительно на 25% повышает процентное содержание зерен Госсса, которые

35 способствуют хорошей ориентации зерен вторичной рекристаллизации, как хорошо известно экспертам в данной области техники.

Кроме того, было подтверждено, что наличие в стали оксидов также влияет на магнитное свойство конечного продукта, при этом они могут действовать как центры

40 кристаллизации при осаждении. Более конкретно было определено, что содержание в стали кислорода в виде оксидов на уровне выше 30 промилле влияет на качество конечного продукта благодаря тому, что оксиды вызывают кристаллизацию всех вторых фаз до этапа горячей прокатки; без высокой плотности дислокации вторые фазы будут осаждаться в виде крупных форм, в результате чего их нельзя будет использовать в качестве ингибиторов роста зерен.

45 Другие экспериментальные данные, по всей видимости, указывают на то, что температура охлаждения полосы после поточной горячей прокатки может играть фундаментальную роль для получения хороших магнитных свойств конечного продукта; в частности, в соответствии с используемыми ингибиторами существует максимальная температура намотки полосы, выше которой невозможно получить продукт с приемлемыми

50 характеристиками. Этот результат может объясняться тем, что намотанная полоса не может эффективно рассеивать тепло и в течение длительного времени сохраняет температуру, близкую к температуре намотки. Это, в свою очередь, способствует образованию крупных кристаллов (так называемое вызревание Освальда (Oswald

Ripening), которые подавляют способность вторых фаз действовать в качестве ингибиторов.

5 Подробное изучение действия различных семейств ингибиторов позволило сделать следующие выводы: если в качестве ингибиторов используют сульфиды/селениды, указанная максимальная температура намотки полосы составляет 780°C, в то время как при использовании нитридов указанная максимальная температура намотки составляет 600°C.

10 В случае одновременного использования нитридов и сульфидов/селенидов получают очень хорошие магнитные характеристики при температуре намотки полосы не выше, чем 600°C.

15 Также было подтверждено, что, если при использовании нитридов в качестве ингибиторов температура намотки полосы будет выше 600°C, хорошие результаты могут быть получены путем азотирования полосы перед вторичной рекристаллизацией. Исследования, проведенные авторами настоящего изобретения, показали, что производство хорошей электротехнической стали, получаемой в виде непрерывно разливаемой полосы, требует внимательного и тщательного выбора рабочих условий, которые, кроме того, должны быть определены с учетом микролегирующих элементов, присутствующих в составе стали.

20 Способ в соответствии с настоящим изобретением, таким образом, направлен на производство электротехнической стали с ориентированными зернами с использованием непосредственной непрерывной разливки в полосу стали толщиной от 1,5 до 5 мм, содержащей от 2,5 до 3,5 мас.% Si, до 1000 промилле С и элементы, способствующие образованию кристаллов сульфидов/селенидов или нитридов или одновременно сульфидов/селенидов и нитридов. В случае сульфидов/селенидов сталь должна 25 содержать, по меньшей мере, один элемент, выбранный из Mn и Cu, а также, по меньшей мере, один элемент, выбранный из S и Se. В случае нитридов сталь должна содержать Al и N и, в случае необходимости, по меньшей мере, один элемент, выбранный из Nb, V, Ti, Cr, Zr, Ce. В случае, когда нитриды и сульфиды/селениды используют одновременно, должны присутствовать элементы из обеих приведенных выше групп. В качестве 30 остальных составляющих используют железо и элементы, которые не влияют на конечные характеристики продукта. Указанную сталь разливают в виде полосы, например, с помощью пары установленных параллельно, охлаждаемых и вращающихся в противоположных направлениях валков так, что общее содержание кислорода, измеряемое в отливаемой полосе, после удаления поверхностного оксида составляет менее 30 промилле.

35 Полосу подвергают поточной горячей прокатке после отливки в интервале температур в начале прокатки от 1100 до 1250°C, при этом степень обжатия составляет от 15 до 50%, и наматывают при максимальной температуре (Тмакс), зависящей от вида используемых ингибиторов. Если используют сульфиды/селениды, значение указанного Тмакс составляет 780°C, если используют нитриды, значение указанного Тмакс составляет 600°C и, если 40 одновременно используют оба класса ингибиторов, значение указанного Тмакс составляет 600°C. В последних двух случаях значение Тмакс может составлять от 600 до 780°C при условии, что для обработки полосы используют этап азотирования путем добавления аммиака в атмосферу печи в последней части отжига для обезуглероживания перед началом вторичной рекристаллизации. Затем указанная полоса проходит ряд этапов 45 термомеханической обработки, обычно используемых при производстве электротехнической стали с ориентированными зернами, как хорошо известно специалистам в данной области техники, таких как: отжиг, холодная прокатка за один или несколько этапов, отжиг для обезуглероживания, отжиг для вторичной рекристаллизации и так далее. Однако конкретная последовательность, значения 50 температур нагрева при отжиге, степени обжатия, как указано ниже, должны соответствовать этапам приведенного выше процесса.

Например, полоса, прошедшая горячую прокатку, может подвергаться отжигу, холодной прокатке также на этапах со степенью обжатия на втором этапе, составляющей от 50 до

93%, проходить обезуглероживание, покрытие разделительным слоем на основе MgO и может подвергаться отжигу для образования указанной вторичной рекристаллизации. Полоса, прошедшая вторичную рекристаллизацию, может быть покрыта изолирующим покрытием, которое также может быть стягивающим.

5 Предпочтительно, в соответствии с первым аспектом настоящего изобретения элементы, используемые для осаждения вторых фаз, выбирают из:

S+(16/39) Se: 50-300 промилле,

Mn: 400-2000 промилле,

Cu: <3000 промилле.

10 После поточной горячей прокатки полосу наматывают при температуре ниже 780°C; затем ее можно подвергать отжигу и закаливанию, затем протравливанию и холодной прокатке до толщины от 0,15 до 0,5 мм.

Предпочтительно, в соответствии с другим аспектом настоящего изобретения элементы, используемые для кристаллизации вторых фаз, выбирают из:

15 N: 60-100 промилле,

Al: 200-400 промилле.

Более предпочтительно, элементы, используемые для кристаллизации вторых фаз, выбирают среди:

S+(16/39) Se: 50-250 промилле,

20 Mn: 400-2000 промилле,

Cu: <3000 промилле,

N: 60-100 промилле,

Al: 200-400 промилле.

K указанным элементам, предпочтительно, может быть добавлен, по меньшей мере, один элемент, выбранный из группы, состоящей из Nb, V, Ti, Cr, Zr, Ce.

После горячей прокатки полосу наматывают при температуре ниже 600°C, подвергают отжигу при температуре от 800 до 1150°C и закаляют. Полосу затем подвергают холодной прокатке до толщины от 0,15 до 0,5 мм, возможно, за два этапа с промежуточным отжигом со степенью обжата на последнем этапе от 60 до 90%.

30 Если полоса, которую нужно наматывать при температуре менее 600°C, будет быстро намотана при температуре от 600 до 780°C, ее нужно будет обработать в соответствии со следующей процедурой: полосу, необязательно отоженную при температуре от 800 до 1150°C, подвергают холодной прокатке до толщины, составляющей от 0,15 до 0,5 мм со степенью обжата от 60 до 90%, необязательно в два этапа с промежуточным отжигом.

35 Полосу затем обезуглероживают и в ходе конечного этапа этой обработки ее азотируют путем добавления аммиака в атмосферу печи.

40 Основное преимущество способа в соответствии с настоящим изобретением состоит в его исключительной стабильности и управляемости с промышленной точки зрения, что позволяет обеспечить постоянно воспроизводимое изготовление полосы кремнистой стали с ориентированными зернами очень высокого качества.

Следующие примеры приведены только для иллюстрации без ограничения объема настоящего изобретения.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Пример 1

45 Сталь, имеющая состав по таблице 1, непрерывно разливали в машине для разлива в полосу с двумя вращающимися в разных направлениях валками.

Таблица 1						
C [промилле]	Si [%]	Al [промилле]	N [промилле]	Mn [промилле]	S [промилле]	Cu [промилле]
480	3,15	190	80	800	250	1400

50 Содержание кислорода в полосе после удаления поверхностной окалины составило 20 промилле.

В ходе процедуры разлива толщину полосы изменяли следующим образом: 2,0 мм, 2,3

мм, 2,8 мм, 3,2 мм, 3,6 мм, 4,0 мм.

Полосу толщиной больше 2,0 мм подвергали последовательно горячей прокатке по длине при температуре 1190°C до получения толщины 2,0 мм. В любом случае полосу охлаждали до температуры 550°C.

5 Полосу затем разделяли на фрагменты, каждый с одной степенью обжатия.

Указанные фрагменты полосы затем отжигали в линии отжига с протравливанием с циклом, содержащим первую остановку при 1130°C на 5 секунд и вторую остановку при температуре 900°C на 40 секунд, с закаливанием, начинающимся с 750°C, и протравливанием.

10 Затем полосу подвергали холодной прокатке за один этап на толщину 0,30 мм, обезуглероживали при температуре 850°C в атмосфере влажного водорода + азота, покрывали разделительным слоем на основе MgO и обрабатывали камерным отжигом путем нагрева со скоростью 15°C/час в атмосфере 25% N₂+75% H₂ до температуры 1200°C с остановкой на этой температуре в атмосфере чистого водорода на 20 часов. Магнитные характеристики полос приведены в таблице 2.

Таблица 2		
Толщина отливаемой полосы	% степени обжатия при горячей прокатке	B800 (мТл)
2	0	1600
2,3	13	1750
2,8	29	1930
3,2	38	1950
3,6	44	1945
4	50	1950

Пример 2

25 Ряд сортов стали, состав которых приведен в таблице 3, разливали в машине для разливки в полосу с парой вращающихся в разных направлениях валков с толщиной полосы 4,0 мм. Во время охлаждения полосу подвергали последовательной горячей прокатке при температуре 1200°C на толщину 2,0 мм и наматывали при температуре 770°C.

Таблица 3										
n°	C [промилле]	Si [%]	Al [промилле]	Nb [промилле]	V [промилле]	N [промилле]	Mn [промилле]	S [промилле]	Cu [промилле]	O [промилле] (*)
A	300	3,15	250	50	20	90	740	235	1400	10
B	350	3,15	180	10	300	70	700	245	1800	12
C	500	3,15	120	800	20	85	750	235	2300	15
D	450	3,15	10	25	20	80	760	240	1800	10
E	480	3,15	12	21	10	80	780	230	1800	20
35 F	500	3,16	220	70	10	15	50	50	85	15

(*) Содержание кислорода измеряли на полосе.

После разливки половины стали температуру намотки полосы понизили до 550°C.

Полосы, полученные при обеих температурах намотки, затем обрабатывали в соответствии с примером 1. Полученные значения магнитных характеристик представлены в таблице 4.

Таблица 4		
Тип стали	Температура намотки [°C]	B800 [мТл]
1	2	3
A	770	1830
B	770	1825
C	770	1830
D	770	1835
E	770	1835
F	770	1550
A	550	1930
B	550	1950
C	550	1955
D	550	1870
E	550	1850
F	550	1850

Пример 3

Полосы по примеру 2, намотанные при более высокой температуре, подвергали азотированию путем добавления аммиака в атмосферу последней части печи обезуглероживания для получения полосы с общим содержанием азота приблизительно 200 промилле.

Полученные значения магнитных характеристик представлены в таблице 5.

Таблица 5		
Тип стали	Температура прокатки [°C]	B800 [мТл]
A	770	1952
B	770	1948
C	770	1955
D	770	1835
E	770	1835
F	770	1865

Пример 4

Была разлита сталь с составом по таблице 6.

Таблица 6								
C [промилле]	Si [%]	Al [промилле]	Nb [промилле]	Va [промилле]	N [промилле]	Mn [промилле]	S [промилле]	Cu [промилле]
300	3.15	250	50	20	90	740	35	1400

В ходе выполнения разливки содержание кислорода в полосе повысили от 15 промилле до 40 промилле в конце разливки. Полученную полосу затем подвергли последовательной горячей прокатке при температуре 1180°C с обжатием от исходной толщины 3,0 мм до конечной толщины 2,0 мм.

Полосу затем обработали для получения конечного продукта в соответствии с примером 1. В таблице 7 показаны значения магнитных характеристик, измеренных в продукте, в функции от содержания кислорода.

Таблица 7	
O [промилле]	B800 [мТл]
10	1950
15	1930
25	1935
30	1850
40	1650

Пример 5

Ряд сортов стали с составом, представленным в таблице 8, подвергали непрерывной разливке в машине для разливки в полосу с парой вращающихся в разных направлениях валков при толщине 3,1 мм. Полосы затем подвергали поточной горячей прокатке, начиная с температуры 1200°C, на толщину 2,0 мм и наматывали при температуре 590°C.

Таблица 8									
п°	C [промилле]	Si [%]	Al [промилле]	Nb [промилле]	Va [промилле]	N [промилле]	Mn [промилле]	S [промилле]	Cu [промилле]
A	300	3.15	280	10	20	90	740	230	1000
B	350	3.15	260	10	15	80	700	240	2100
C	500	3.15	120	1100	20	85	750	235	2200
D	450	3.15	110	20	600	80	760	240	1800
E	480	3.15	30	25	15	20	780	230	1800

После того, как приблизительно половина стали была разлита, операцию остановили и затем возобновили при толщине полосы 2,0 мм, которую наматывали без прокатки. Содержание кислорода в отливаемой полосе составляло 20 промилле после удаления поверхностной окалины.

Полосы затем отжигали в линии отжига с протравливанием с циклом, содержащим первую остановку при 1130°C на 5 секунд и вторую остановку при температуре 900°C на 40 секунд, закачивали, начиная с температуры 750°C, и протравливали.

Полосы затем подвергали одноэтапной холодной прокатке на толщину 0,30 мм,

обезуглероживали при температуре 850°C в атмосфере влажного водорода + азота, покрывали разделительным слоем на основе MgO и обрабатывали камерным отжигом со скоростью нагрева 15°C/час в атмосфере 25% N₂+75% H₂ до температуры 1200°C с остановкой на этой температуре в атмосфере чистого водорода на 20 часов.

После такой обработки полосу подвергали тепловой правке и покрывали изолирующим покрытием. Полученные магнитные характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9		
Тип стали	Поточная горячая прокатка	B800 [мТл]
A	Да	1930
B	Да	1930
C	Да	1950
D	Да	1955
E	Да	1840
A	Нет	1730
B	Нет	1650
C	Нет	1640
D	Нет	1730
E	Нет	1720

Пример 6

Два сорта стали, имеющие состав, представленный в таблице 10, разливали в машине для разливки в полосу с парой вращающихся в разных направлениях валков при толщине 2,8 мм и, в ходе последующего охлаждения, подвергали горячей прокатке с начальной температурой 1180°C на толщину 2,0 мм и затем наматывали при температуре 580°C.

Таблица 10							
п°	C [промилле]	Si [%]	Al [промилле]	N [промилле]	Mn [промилле]	S [промилле]	Cu [промилле]
A	500	3,15	280	80	740	230	1000
B	500	3,15	30	20	700	240	2100

Содержание кислорода в полосах, измеренное после удаления поверхностной окалины, составляло соответственно 22 и 18 промилле.

Из полос получили ряд образцов, которые подвергали лабораторной обработке.

Полосы затем отжигали при температуре 1000°C в течение 50 секунд, протравливали и подвергали холодной прокатке до получения следующих значений толщины: 1,8 мм, 1,4 мм, 1,0 мм, 0,8 мм, 0,6 мм. Как полосы, подвергавшиеся холодной прокатке, так и приведенные выше образцы затем подвергали отжигу с циклом, содержащим первую остановку при 1130°C на 5 секунд и вторую остановку при 900°C на 40 секунд, закаливали, начиная с 750°C, и протравливали.

Полосы затем подвергали холодной прокатке до получения толщины 0,30 мм, обезуглероживали при температуре 850°C в атмосфере влажного водорода + азота, покрывали разделительным слоем на основе MgO и обрабатывали путем камерного отжига со скоростью нагрева 15°C/с от 25 до 1200°C в атмосфере 25% N₂ + 75% H₂ и выдерживали при температуре 1200°C в течение 20 часов в атмосфере чистого водорода.

Полосы затем подвергали тепловой правке и покрывали стягивающим покрытием. Полученные магнитные характеристики представлены в таблице 11.

Таблица 11			
		B800 [мТл]	
Толщина	% конечной степени обжатия	Сталь A	Сталь B
2	85	1950	1610
1,8	83	1945	1605
1,4	79	1910	1720
1	70	1890	1830
0,8	63	1750	1850
0,6	50	1700	1820

Формула изобретения

1. Способ производства полос из электротехнической стали с ориентированными зернами, включающий разливку стали, содержащей 2,5-3,5 мас.% кремния, до 0,1 мас.% углерода и элементы, способствующие формированию мелких кристаллов вторых фаз сульфидов/селенидов и/или нитридов, используемых в качестве ингибиторов роста зерен,
5 железо и другие элементы, несущественные для конечного качества, в полосу толщиной 1,5-5 мм так, что общее содержание кислорода в полосе после удаления поверхностной окислы составляет менее 0,003 мас.%, горячую прокатку полосы, выходящей из разливочной машины, при температуре от 1000 до 1250°C со степенью обжатия от 15 до 50%, охлаждение, намотку полосы, прошедшей горячую прокатку при температуре $T_{\max}$
10 780°C или ниже, которая является функцией выбранных ингибиторов, необязательный отжиг полосы, прошедшей горячее деформирование, холодную прокатку указанной полосы, необязательно в два этапа с промежуточным отжигом со степенью обжатия на последнем этапе от 50 до 93%, отжиг для обезуглероживания, необязательно азотирование, покрытие обезуглероженной полосы разделительным слоем на основе MgO и отжиг для вторичной
15 рекристаллизации, нанесение изолирующего и возможно стягивающего покрытия.
2. Способ по п.1, в котором разливку стали в полосу осуществляют с использованием двух охлаждаемых валков, вращающихся в противоположных направлениях.
3. Способ по п.1 или 2, в котором сульфиды/селениды выбирают из сульфидов/селенидов, содержащих медь и/или марганец.
- 20 4. Способ по п.1, в котором нитриды выбирают из нитридов, содержащих алюминий.
5. Способ по п.1, в котором элементы для кристаллизации вторых фаз сульфидов/селенидов выбирают из группы, содержащей 0,0050-0,0300 мас.% (серы +(16/39)селен), 0,04-0,2 мас.% марганца, менее 0,3 мас.% меди, и полосу после горячей прокатки наматывают при температуре ниже 780°C.
- 25 6. Способ по п.5, в котором полосу после намотки отжигают, затем закаливают, протравливают и подвергают холодной прокатке, возможно, за два этапа с промежуточным отжигом на толщину от 0,15 до 0,5 мм.
7. Способ по 4, в котором элементы для кристаллизации вторых фаз нитридов выбирают из группы, включающей 0,006-0,01 мас.% азота, 0,02-0,04 мас.% алюминия и полосу после
30 горячей прокатки наматывают при температуре ниже 600°C.
8. Способ по п.7, в котором полосу после намотки отжигают при температуре от 800 до 1150°C и закаливают.
9. Способ по п.8, в котором закаленную полосу подвергают холодной прокатке на толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, возможно за два этапа с промежуточным
35 отжигом со степенью обжатия при последней прокатке, составляющей от 60 до 93%.
10. Способ по любому из пп.1-4, в котором элементы, добавляемые для кристаллизации вторых фаз, выбирают из группы, содержащей 0,005-0,025 мас.% (сера + (16/39)селен), 0,04-0,2 мас.% марганца, менее 0,3 мас.% меди, 0,006-0,01 мас.% азота, 0,02-0,04
40 мас.% алюминия, и полосу после горячей прокатки наматывают при температуре ниже 600°C.
11. Способ по п.10, в котором полосу разматывают и отжигают при температуре от 800 до 1150°C и затем закаливают.
12. Способ по п.11, в котором закаленную полосу подвергают холодной прокатке на
45 толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, возможно за два этапа с промежуточным отжигом со степенью обжатия при последней прокатке, составляющей от 60 до 93%.
13. Способ по любому из пп.1-4 и 7-12, в котором в состав стали добавляют, по меньшей мере, один элемент, выбранный из группы ниобий, ванадий, титан, хром, цирконий, и церий.
- 50 14. Способ по п.13, в котором после горячей прокатки осуществляют намотку полосы при температуре, составляющей от 600 до 780°C, затем проводят отжиг при температуре от 800 до 1150°C, холодную прокатку необязательно за два этапа с промежуточным отжигом на толщину, составляющую от 0,15 до 0,5 мм, со степенью обжатия при последней

прокатке от 60 до 93%, отжиг для обезуглероживания и азотирование путем добавления аммиака в атмосферу печи.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50