



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2009129759/02**, 03.08.2009(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.08.2009(45) Опубликовано: **27.12.2010** Бюл. № 36(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2193603 C2**, 27.11.2002. **RU 2125102 C1**,
20.01.1999. **DE 19745445 C1**, 08.07.1999. **WO**
200701486 A1, 08.02.2007. **RU 2193603 C2**,
27.11.2002.

Адрес для переписки:

**398040, г.Липецк, пл. Metallургов, 2, ОАО
"НЛМК"**

(72) Автор(ы):

**Ларин Юрий Иванович (RU),
Поляков Михаил Юрьевич (RU),
Духнов Анатолий Георгиевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Открытое акционерное общество
"Новолипецкий металлургический
комбинат" (RU)****(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА АНИЗОТРОПНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ С
НИЗКИМИ УДЕЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ НА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области черной металлургии. Для производства стали с низкими потерями на перемагничивание ($P_{1,7/50} \leq 1,0$ Вт/кг) и высокой магнитной индукцией ($B_{800} \geq 1,9$ Тл) сталь выплавляют с содержанием, мас. %: от 2,5 до 3,6 кремния, от 0,05 до 0,40 марганца, от 0,02 до 0,065 углерода, от 0,004 до 0,013 азота, менее 0,012 серы, менее 0,005 титана, от 0,020 до 0,035 кислоторастворимого алюминия, осуществляют непрерывную разливку стали в слябы толщиной 220-270 мм. Слябы при температуре поверхности не менее 450°C помещают в методическую печь и нагревают до 1100-1200°C, проводят горячую прокатку, отжиг, холодную прокатку в один или несколько этапов с операцией старения между проходами, непрерывный отжиг

холоднокатаной полосы со скоростью нагрева от 20 до 50°C/с до температуры 750-800°C, обезуглероживание при температуре 790-840°C с выдержкой в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O} = 1,9-2,5$, производят подъем температуры на 5-50°C, максимально до 870°C, и выдержку в течение 10-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O} = 1,9-20$, производят азотирование при температуре от 780 до 850°C в азотоводородной атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O} = 15-200$, содержащей аммиак NH_3 , выполняют подъем температуры на 30-200°C, максимально до 1050°C, и выдержку в течение 15-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O} = 5-500$ и производят охлаждение до температуры 600-100°C в сухой азотоводородной атмосфере с содержанием водорода не менее 10%. 3 з.п. ф-лы, 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2009129759/02, 03.08.2009**(24) Effective date for property rights:
03.08.2009(45) Date of publication: **27.12.2010 Bull. 36**

Mail address:

**398040, g.Lipetsk, pl. Metallurgov, 2, OAO
"NLMK"**

(72) Inventor(s):

**Larin Jurij Ivanovich (RU),
Poljakov Mikhail Jur'evich (RU),
Dukhnov Anatolij Georgievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Novolipetskij
metallurgicheskij kombinat" (RU)****(54) PROCEDURE FOR PRODUCTION OF ANISOTROPIC ELECTRO-TECHNICAL STEEL WITH LOW SPECIFIC LOSSES FOR RE-MAGNETISATION**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: there is melted steel with contents, wt %: from 2.5 to 3.6 of silicon, from 0.05 to 0.40 of manganese, from 0.02 to 0.065 of carbon, from 0.004 to 0.013 of nitrogen, less, than 0.012 of sulphur, less, than 0.005 of titanium, and from 0.020 to 0.035 of acid-soluble aluminium. Further, there is performed continuous steel casting into slabs of 220-270 mm thickness. At temperature of surface not less, than 450°C slabs are placed into a continuous furnace and are heated to 1100-1200°C. Further, the slabs are hot rolled, annealed, and cold rolled in one or several stages with ageing between runs. Cold rolled strip is continuously annealed at heating rate from 20 to 50°C/s to temperature 750-800°C, decarbonised at temperature 790-840°C and conditioned in atmosphere with ratio $P_{H_2}/P_{H_2O} = 1.9 - 2.5$. Temperature is raised

at 5-50°C maximum to 870°C and product is conditioned during 10-30 sec in atmosphere with ratio $P_{H_2}/P_{H_2O} = 1.9 - 20$. Nitriding is performed at temperature from 780 to 850°C in nitrogen-hydrogen atmosphere with ratio $P_{H_2}/P_{H_2O} = 15 - 200$ containing ammonia NH_3 . Further, temperature is raised at 30-200°C, maximum to 1050°C. The product is conditioned during 15-30 s in atmosphere with ratio $P_{H_2}/P_{H_2O} = 5 - 500$, then cooled to temperature 600-100°C in dry nitrogen-hydrogen atmosphere, where contents of hydrogen are not less, than 10 %.

EFFECT: low losses for re-magnetisation and high magnetic induction.

4 cl, 2 tbl

Предлагаемое изобретение относится к области черной металлургии и может быть использовано при производстве холоднокатаной анизотропной электротехнической стали.

5 Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по совокупности существенных признаков является «Способ получения листа из электротехнической стали с ориентированной зеренной структурой и высокими магнитными свойствами» по патенту Российской Федерации №2193603, включающий непрерывную разливку стали, получение сляба из стали, высокотемпературный отжиг, горячую прокатку, 10 холодную прокатку за один или большее число этапов, непрерывный первичный рекристаллизационный обезуглероживающий отжиг и азотирующий отжиг, нанесение разделяющего покрытия против слипания и вторичный рекристаллизационный отжиг в садочной печи.

15 В данном способе технический результат получения стали с высокой магнитной индукцией достигается тем, что непрерывной разливке подвергают сталь, содержащую, масс. %: от 2,5 до 4,5 кремния, от 0,015 до 0,075, предпочтительно от 0,025 до 0,050 углерода, от 0,03 до 0,40, предпочтительно от 0,05 до 0,20 марганца, менее 0,012, предпочтительно от 0,005 до 0,007 серы, от 0,010 до 0,040, 20 предпочтительно 0,02 до 0,035 растворимого алюминия, от 0,003 до 0,013, предпочтительно от 0,006 до 0,010 азота, менее 0,005, предпочтительно менее 0,003 титана, железо и минимальное количество неизбежных примесей остальное, высокотемпературный отжиг слябов проводят при температуре от 1200 до 1320°C, предпочтительно от 1270 до 1310°C, после горячей прокатки лист охлаждают до 25 температуры менее 700°C, предпочтительно ниже 600°C, быстрый нагрев горячекатаного листа сначала до температуры от 1000 до 1150°C, предпочтительно от 1060 до 1130°C, с последующим охлаждением, выдержкой при температуре от 800 до 950°C, предпочтительно от 900 до 950°C, с последующей закалкой, 30 предпочтительно в воде и водяном паре, начиная с температуры в диапазоне от 700 до 800°C, первичный обезуглероживающий рекристаллизационный отжиг холоднокатаного листа проводят при температуре от 800 до 950°C в течение времени от 50 до 350 с во влажной азотоводородной атмосфере, при P_{H_2O}/P_{H_2} в диапазоне от 0,3 до 0,7, непрерывный азотирующий отжиг выполняют при температуре от 850 до 1050°C в течение времени от 15 до 120 с при подаче в печь газа на основе азотоводородной смеси, содержащей NH_3 в количестве от 1 до 35 стандартных литров на кг листа, при содержании водяного пара от 0,5 до 100 г/м³.

40 Вторичный рекристаллизационный отжиг на завершающем этапе обработки выполняют при температуре от 700 до 1200°C за период времени от 2 до 10 часов, предпочтительно менее 4 часов.

Известное техническое решение имеет следующие недостатки:

- 45 - высокая температура нагрева слябов, при которой происходит повышенное окалинообразование, что требует дополнительного времени на остановку печи для удаления окалины и, соответственно, приводит к снижению производительности стана горячей прокатки,
- повышенный расход топлива при нагреве слябов трансформаторной стали,
- 50 - нерегламентированная скорость нагрева холоднокатаной полосы перед рекристаллизационным обезуглероживающим отжигом, температурный режим обезуглероживания, обработка после завершения процесса обезуглероживания и завершения процесса азотирования, что может привести к нестабильности начального периода первичной рекристаллизации, проведению процесса в области неоптимальных

значений технологических параметров и может сказаться на уровне магнитных свойств и качестве поверхности готовой стали,

- высокий расход аммиака при азотирующем отжиге.

К анизотропной электротехнической стали высокого качества, используемой при изготовлении магнитопроводов различных типов для ответственных электрических устройств, предъявляются следующие основные требования по магнитным свойствам: сталь должна иметь высокую магнитную проницаемость и соответственно высокую магнитную индукцию и одновременно минимальные потери на перемагничивание.

Для выполнения этих требований готовая сталь должна иметь определенные параметры структуры - совершенную текстуру $\{110\}<001>$ и оптимальную величину зерна, которые формируются в ходе вторичной рекристаллизации в процессе высокотемпературного отжига.

Задача, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, - это улучшение магнитных свойств анизотропной электротехнической стали, получение анизотропной стали с низкими потерями на перемагничивание ($P_{1,7/50} \leq 1,0$ Вт/кг) и высокой магнитной индукцией ($B_{800} \geq 1,90$ Тл), а также стабилизация и оптимизация технологических операций.

При этом достигается получение такого технического результата, как: получение анизотропной стали с низкими потерями на перемагничивание ($P_{1,7/50} \leq 1,0$ Вт/кг) и высокой магнитной индукцией ($B_{800} \geq 1,90$ Тл), увеличение производительности стана горячей прокатки, увеличение доли высших марок,

снижение себестоимости производства анизотропной электротехнической стали и получение дополнительной прибыли.

Технический результат достигается тем, что способ производства анизотропной электротехнической стали включает выплавку стали, содержащую, масс. %: от 2,5 до 3,6 кремния, от 0,05 до 0,40 марганца, от 0,02 до 0,065 углерода, от 0,004 до 0,013 азота, менее 0,012 серы, менее 0,005 титана, от 0,020 до 0,035 кислоторастворимого алюминия, непрерывную разливку в сляб, нагрев слябов в нагревательных печах, горячую прокатку, отжиг горячекатаных полос, холодную прокатку в один или несколько этапов с операциями старения между проходами, непрерывный отжиг холоднокатаных полос, в процессе которого производят рекристаллизацию, обезуглероживание во влажной азотоводородной атмосфере и азотирование, нанесение разделительного термостойкого покрытия и высокотемпературный отжиг для проведения вторичной рекристаллизации.

При этом сталь непрерывно разливают на толщину готового сляба 220-270 мм, слябы помещают в методическую печь при температуре поверхности слябов не менее 450°C, нагревают перед горячей прокаткой до температуры 1100-1200°C, непрерывный отжиг холоднокатаной полосы осуществляют со скоростью нагрева от 20 до 50°C/с до температуры 750-800°C, затем нагревают до температуры обезуглероживания 790-840°C и выдерживают в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-2,5$, производят подъем температуры на 5-50°C, максимально до 870°C, и выдержку в течение 10-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-20$, производят азотирование при температуре от 780 до 850°C в азотоводородной атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=15-200$, содержащей аммиак (NH_3), выполняют подъем температуры на 30-200°C, максимально до 1050°C, выдерживают в течение 15-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=5-500$, производят охлаждение до температуры 600-100°C в сухой азотоводородной атмосфере с содержанием водорода

не менее 10%.

Атмосферу для азотирования получают пропуская азотоводородный газ через водный раствор аммиака NH_3 с концентрацией его в растворе 6-25% или путем смешивания газообразного аммиака NH_3 с азотоводородной атмосферой печи.

Охлаждение полосы после непрерывного отжига осуществляют в атмосфере с содержанием водорода 50-100%.

Сопоставительный анализ предложенного технического решения с прототипом показывает, что заявляемое техническое решение отличается от известного.

Таким образом, заявленный способ соответствует критерию изобретения «новизна».

Сравнительный анализ предложенного решения не только с прототипом, но и с другими техническими решениями выявил, что регламентирование толщины слябов и условий их нагрева - температура поверхности перед посадом в нагревательную печь не менее 450°C , температура нагрева слябов перед горячей прокаткой до $1100-1200^\circ\text{C}$ - позволяет улучшить электромагнитные свойства анизотропной стали, снизить окалинообразование при нагреве слябов в нагревательных печах перед горячей прокаткой, увеличить производительность стана горячей прокатки, снизить расход топлива при нагреве слябов, снизить расход металла при производстве стали.

Непрерывный отжиг холоднокатаной полосы, в процессе которого производят первичную рекристаллизацию, обезуглероживание, подъем температуры, выдержку, азотирование, подъем температуры и выдержку после азотирования, не только увеличивает долю высших марок в общем объеме производства, но и снижает себестоимость производства анизотропной электротехнической стали и позволяет получать дополнительную прибыль.

Отсюда следует, что заявляемая совокупность существенных отличий обеспечивает получение упомянутого технического результата, что, по мнению авторов, соответствует критерию изобретения «изобретательский уровень».

Предложенное техническое решение будет понятно из следующего описания.

Известно, что при производстве анизотропной электротехнической стали для обеспечения избирательного роста зерен с ориентировкой $\{110\}<001>$ необходимо присутствие перед началом первичной рекристаллизации, в процессе первичной рекристаллизации и в процессе вторичной рекристаллизации дисперсных включений второй фазы определенного количества и размера. В предлагаемом способе основной второй фазой - ингибитором - является нитрид алюминия.

На всех технологических переделах в результате последовательной трансформации структуры, текстуры, фазового состава, состояния дисперсной фазы и фазообразующих элементов происходит формирование параметров дисперсной фазы и структурных характеристик, необходимых для получения совершенной ребровой текстуры в процессе высокотемпературного отжига.

Одной из основных задач горячей прокатки является выделение определенного количества дисперсной фазы, необходимой для предотвращения неконтролируемого роста зерна на стадиях обезуглероживания и азотирования в процессе непрерывного отжига.

Принято считать, что для растворения и последующего выделения нитрида алюминия при горячей прокатке температура нагрева сляба должна быть $1250-1300^\circ\text{C}$.

Проведенные нами исследования показали, что необходимое количество фазообразующих элементов возможно получить при температуре нагрева слябов перед горячей прокаткой от 1100 до 1200°C при выполнении следующих технологических параметров: толщина слябов от 220 до 270 мм, температура

поверхности слябов перед помещением в печь не менее 450°C.

Толщина сляба от 220 до 270 мм обеспечивает оптимальную скорость охлаждения при разливке, что препятствует образованию грубых включений нитридов алюминия, а также из-за низкой теплопроводности кремнистой стали при температуре
5 поверхности не менее 450°C позволяет сохранить в центральных слоях сляба температуру от 700°C и соответственно сохранить в растворе достаточное количество фазообразующих элементов. При таких исходных условиях нагрев слябов перед горячей прокаткой до температуры 1100-1200°C, т.е. в интервале, соответствующем
10 максимальному количеству γ -фазы в объеме металла, позволяет перевести и сохранить в растворе достаточное количество фазообразующих элементов.

Кроме того, нагрев слябов перед горячей прокаткой до температуры 1100-1200°C позволяет снизить окалинообразование при нагреве слябов в нагревательной печи, сократить время остановки нагревательной печи на чистку окалины, повысить
15 производительность стана горячей прокатки.

Таким образом, только соблюдение в комплексе предлагаемых взаимосвязанных условий позволяет реализовать заявляемый способ производства анизотропной электротехнической стали с низкими потерями на перемагничивание.

В процессе непрерывного отжига холоднокатаной полосы происходит последовательно ряд процессов, выполнение технологических параметров которых в заявляемых пределах обеспечивает получение готовой анизотропной электротехнической стали с низкими потерями на перемагничивание.

В заявляемом способе при проведении отжига холоднокатаной полосы можно выделить несколько последовательных стадий, выполнение технологических параметров которых в заявляемых пределах обеспечивает получение готовой анизотропной электротехнической стали с низкими удельными потерями на перемагничивание и хорошим качеством поверхности.

Начальная стадия отжига - нагрев полосы, оказывает большое влияние на характеристики структуры обработанного металла. Нагрев полосы при непрерывном отжиге со скоростью от 20 до 50°C/c до температуры от 750 до 800°C препятствует коагуляции и растворению комплекса мелкодисперсных частиц второй фазы, присутствие которых необходимо в деформированной матрице на начальном этапе
35 первичной рекристаллизации. Частицы дисперсной фазы сдерживают рост зерен с ориентировкой, отличающейся от текстуры Госсса $\{110\}\langle 001\rangle$, и способствуют формированию микрообластей с ориентировкой, близкой к $\{110\}\langle 001\rangle$, которые, трансформируясь, обеспечивают в конечном итоге рост зерен с указанной
40 ориентировкой во время вторичной рекристаллизации.

Помимо сдерживающего действия в процессе быстрого нагрева ингибиторная фаза способствует уменьшению разнотерности в микроструктуре и тем самым способствует контролируемому росту зерен первичной рекристаллизации.

Стадию обезуглероживания проводят во влажной азотоводородной атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-2,5$ при температуре от 790 до 840°C. Проведение процесса в этом интервале температур обеспечивает максимальную скорость процесса и соответственно позволяет сократить время, необходимое для удаления углерода из металла. Уменьшение температуры менее 790°C приводит к резкому снижению скорости обезуглероживания, увеличение температуры выше 840°C также замедляет процесс и, кроме того, приводит к необоснованному расходу энергии для поддержания повышенной температуры. Поддержание окислительного потенциала влажной азотоводородной атмосферы, характеризующегося величиной P_{H_2}/P_{H_2O} в

пределах от 1,9 до 2,5, не только обеспечивает высокую скорость реакции удаления углерода и его низкое конечное содержание, но и приводит к образованию на поверхности полосы зоны внутреннего окисления, содержащей кроме окиси кремния достаточное количество фаялита ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$). Получаемый состав зоны внутреннего окисления, трансформируясь в дальнейшем при операциях выдержки после обезуглероживания, азотирования, выдержки после азотирования, при заявленных значениях окислительного потенциала и в процессе охлаждения до температуры 600-100°C в сухой азотоводородной атмосфере с содержанием водорода не менее 10% обеспечивает во время последующих технологических операций формирование поверхности полосы высокого качества.

Проведение азотирования при температуре 780-850°C обеспечивает максимальную скорость азотирования и получение требуемой массовой доли азота в металле при минимальном содержании аммиака в атмосфере печи и, соответственно, при его минимальном расходе. Повышение температуры азотирования выше 850°C требует увеличения времени азотирования, повышения концентрации аммиака в атмосфере печи и увеличения его расхода. При температуре ниже 780°C процессы диффузии азота в металл резко замедляются.

При проведении операций обезуглероживания и последующего азотирования происходят диффузионные процессы, связанные как с диффузией углерода из металла, так и с диффузией азота в металл, что приводит к неравномерному распределению по толщине полосы концентрации углерода и азота.

Содержание углерода в центральных слоях существенно выше, чем в поверхностных. Содержание азота в поверхностных слоях в несколько раз может превышать содержание его в центральных слоях.

Неоднородность распределения углерода и азота в матрице металла отрицательно сказывается на формировании текстуры в процессе вторичной рекристаллизации и, соответственно, на уровне магнитных свойств готовой стали.

Для выравнивания концентрации углерода по толщине полосы производят после операции обезуглероживания подъем температур на 5-50°C от температуры обезуглероживания, максимально до 870°C, и выдержку в течение 10-30 с.

Для выравнивания концентрации азота по толщине полосы производят после операции азотирования подъем температуры на 30-200°C, максимально до 1050°C, и выдержку в течение 15-30 с.

Получение азотоводородной атмосферы для азотирования, содержащей аммиак, в рамках заявляемого способа возможно смешиванием азотоводородной атмосферы с чистым газообразным аммиаком или пропусканием азотоводородной атмосферы через водный раствор аммиака с концентрацией его в растворе 6-25%.

При одинаковом эффекте по азотированию техника осуществления этих способов будет различна. Второй способ - использование водного раствора аммиака - более прост в осуществлении и не требует соблюдения ряда жестких условий и специальных требований по технике безопасности, необходимых при использовании чистого газообразного аммиака.

Ниже приведены примеры осуществления предлагаемого изобретения, не исключающие другие примеры в пределах формулы изобретения.

Электротехническую сталь выплавляли в конвертере, разливали в слябы на установке непрерывной разливки стали, горячую прокатку осуществляли на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки, отжиг горячекатаной полосы проводили в непрерывном агрегате нормализации, холодную прокатку за один этап

осуществляли на четырехвалковом реверсивном стане холодной прокатки, при холодной прокатке за два этапа первый этап с обжатием 60%-80% выполняли на четырехклетьевом непрерывном четырехвалковом стане холодной прокатки, промежуточную обработку осуществляли в непрерывной проходной печи или в садовой печи, второй этап холодной прокатки осуществляли на реверсивном четырехвалковом стане холодной прокатки, непрерывный отжиг холоднокатаной полосы, в процессе которого осуществляли рекристаллизацию, обезуглероживание и азотирование, осуществляли в непрерывном агрегате термообработки, разделенном на зоны и имеющем систему подготовки и подачи в печь защитной азотоводородной атмосферы и аммиака, термостойкое разделительное покрытие наносили на отдельно стоящем агрегате, высокотемпературный отжиг при температуре 1200°C в течение 20 часов проводили в садовой печи.

Химсостав выплавленной электротехнической стали приведен в таблице 1, варианты реализации заявленного способа приведены в таблице 2.

Химический состав электротехнической стали							Таблица 1
Массовая доля элементов %							
Si	Mn	N	S	Ti	Al _{кр}	C	
3.18	0.10	0.007	0.006	0.003	0.027	0.058	

Варианты реализации заявленного способа												Таблица 2
№	Технологический параметр	Заявленные значения	№ схемы обработки									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Толщина сляба, мм	220-270	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2	Температура поверхности сляба перед посадом в нагревательную печь, °C	Не менее 450	620	620	630	630	380	610	580	630	600	
3	Температура нагрева сляба перед горячей прокаткой, °C	1100-1200	1190	1190	1190	1190	1080	1180	1180	1190	1190	
4	Скорость нагрева при непрерывном отжиге, °C/с	20-50	31	31	30	30	32	30	18	30	30	
5	Температура нагрева, °C	750-800	790	790	790	790	800	800	800	800	790	
6	Температура обезуглероживания, °C	790-840	820	820	830	830	820	820	820	820	820	
7	Атмосфера при обезуглероживании	$P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-2,5$	1,9	2,0	1,9	2,9	2,5	2,5	4,5	2,0	2,0	
8	Подъем температуры после обезуглероживания, °C	На 5-50, максимум до 870	860	860	870	870	860	820	860	860	870	
9	Выдержка, с	10-30	12	12	12	12	12	14	14	12	12	
10	Атмосфера при выдержке	$P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-2,0$	4	5	4	5	15	15	12	25	28	
11	Температура азотирования, °C	780-850	790	790	800	800	800	800	890	790	780	
12	Атмосфера азотирования	$P_{H_2}/P_{H_2O}=15-200$	25	50	25	50	75	75	75	120	115	
13	Подъем температуры после азотирования, °C	На 30-200	880	880	900	900	870	800	890	910	900	
14	Выдержка после азотирования, с	15-30	17	17	17	17	17	5	11	16	16	
15	Атмосфера при выдержке	$P_{H_2}/P_{H_2O}=5-500$	200	500	200	500	180	180	180	50	60	
16	Температура охлаждения, °C	600-100	400	400	400	400	420	450	450	450	450	
17	Содержание H ₂ в атмосфере при охлаждении, %	Не менее 10	21	21	21	21	20	20	20	20	1	

		1									
		Пропусканием через водный раствор аммиака									
5	18	Способ получения атмосферы азотирования	1	1	2	2	1	1	1	1	1
		Смешиванием азотно-водородной атмосферы с газообразным аммиаком									
	19	Удельные потери на перемагничивание $P_{1,7/50}$, Вт/кг	0.89	0.94	0.90	0.95	1.23	1.08	1.29	1.09	1.11
	20	Магнитная индукция B_{800} , Тл	1.92	1.91	1.92	1.92	1.86	1.88	1.85	1.90	1.89
10	21	Толщина готовой стали, мм	0.27	0.30	0.27	0.30	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Формула изобретения

1. Способ производства холоднокатаной анизотропной электротехнической стали с низкими удельными потерями на перемагничивание, включающий выплавку стали, содержащую, мас.% от 2,5 до 3,6 кремния, от 0,05 до 0,40 марганца, от 0,020 до 0,065 углерода, от 0,004 до 0,013 азота, менее 0,012 серы, менее 0,005 титана, от 0,020 до 0,035 кислотнорастворимого алюминия, непрерывную разливку в сляб, нагрев слябов в нагревательных печах, горячую прокатку, отжиг горячекатаных полос, холодную прокатку в один или несколько этапов с операцией старения между проходами, непрерывный отжиг холоднокатаных полос, в процессе которого производят рекристаллизацию, обезуглероживание во влажной азотоводородной атмосфере и азотирование, нанесение разделяющего термостойкого покрытия, высокотемпературный отжиг для проведения вторичной рекристаллизации, отличающийся тем, что сталь непрерывно разливают на толщину готового сляба 220-270 мм, слябы помещают в нагревательную печь при температуре поверхности слябов не менее 450°C, нагревают перед горячей прокаткой до температуры 1100-1200°C, непрерывный отжиг холоднокатаной полосы последовательно осуществляют сначала со скоростью нагрева от 20 до 50°C/с до температуры 750-800°C, затем нагревают до температуры обезуглероживания 790-840°C и выдерживают в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-2,5$, производят подъем температуры на 5-50°C, максимально до 870°C и выдерживают в течение 10-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=1,9-20$, азотирование проводят при температуре 780-850°C в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=15-200$, содержащей аммиак (NH_3), выполняют подъем температуры на 30-200°C, максимально до 1050°C, выдерживают в течение 15-30 с в атмосфере с соотношением $P_{H_2}/P_{H_2O}=5-500$ и производят охлаждение до температуры 600-100°C в сухой азотоводородной атмосфере с содержанием водорода не менее 10%.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что атмосферу для азотирования получают пропусканием азотоводородного газа через водный раствор аммиака с концентрацией его в растворе 6-25%.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что атмосферу для азотирования получают путем смешивания газообразного аммиака с азотоводородной атмосферой печи.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что охлаждение полосы после непрерывного отжига осуществляют в атмосфере с содержанием водорода 50-100%.