



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 155 233** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>7</sup> **C 21 D 8/12**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 99110337/02, 17.05.1999  
(24) Дата начала действия патента: 17.05.1999  
(46) Дата публикации: 27.08.2000  
(56) Ссылки: SU 1275054М 07.12.1986. RU 2000341 С1, 07.09.1993. JP 61-136626, 24.06.1986. DE 3538609 А1, 07.05.1986. RU 2092605 С1, 10.10.1997.  
(98) Адрес для переписки:  
398040, г.Липецк, пл. Металлургов 2, ОАО "НЛМК"

(71) Заявитель:  
Открытое акционерное общество  
"Новолипецкий металлургический комбинат"  
(72) Изобретатель: Настич В.П.,  
Чеглов А.Е., Барятинский В.П., Миндлин  
Б.И., Парахин В.И., Долматов А.П., Милованов  
А.А.  
(73) Патентообладатель:  
Открытое акционерное общество  
"Новолипецкий металлургический комбинат"

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству холоднокатаной электротехнической изотропной стали. Техническим результатом изобретения является повышение уровня электромагнитных свойств готовой изотропной стали. Технический результат достигается следующим образом: сталь после холодной прокатки на толщину 0,5 мм подвергают рекристаллизационному отжигу с нагревом до температуры, определяемой из соотношения:

$$T_{\text{отт}} = [a_0 - a_1 \cdot \text{НВ}^2 - a_2 \cdot \text{Al} \cdot \text{N} - a_3 \cdot \text{C} + a_4 \cdot \varepsilon] \pm 8^\circ\text{C}$$

где  $T_{\text{отт}}$  - оптимальная температура рекристаллизационного отжига, °С;  $a_0 = 771^\circ\text{C}$  - размерный коэффициент;  $a_1 = 28071^\circ\text{C}/\%^2$  - размерный коэффициент; НВ - объемная доля неметаллических включений в подкате, %;  $a_2 = 7416^\circ\text{C}/\%^2$  - размерный коэффициент; Al - массовая доля алюминия в металле, %; N - массовая доля азота в металле, %;  $a_3 = 833^\circ\text{C}/\%$  - размерный коэффициент; C - массовая доля углерода в металле, %;  $a_4 = 4,2^\circ\text{C}/\%$  - размерный коэффициент;  $\varepsilon$  - суммарное обжатие при холодной прокатке, %. 1 табл.

RU 2 1 5 5 2 3 3 C 1

RU 2 1 5 5 2 3 3 C 1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 155 233** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **C 21 D 8/12**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99110337/02, 17.05.1999  
 (24) Effective date for property rights: 17.05.1999  
 (46) Date of publication: 27.08.2000  
 (98) Mail address:  
 398040, g.Lipetsk, pl. Metallurgov 2, OAO "NLMK"

(71) Applicant:  
 Otkrytoe aktsionerное obshchestvo  
 "Novolipetskij metallurgicheskij kombinat"  
 (72) Inventor: Nastich V.P.,  
 Cheglov A.E., Barjatinskij V.P., Mindlin  
 B.I., Parakhin V.I., Dolmatov A.P., Milovanov A.A.  
 (73) Proprietor:  
 Otkrytoe aktsionerное obshchestvo  
 "Novolipetskij metallurgicheskij kombinat"

(54) **METHOD OF PRODUCTION OF COLD ROLLER ELECTRICAL-SHEET ISOTROPIC STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: production of cold roller isotropic electrical-sheet steel; ferrous metallurgy. SUBSTANCE: after cold rolling to depth of 0.5 mm, steel is subjected to recrystallization annealing at heating to temperature determined from the following dependence:

$$T_{opt} = [a_0 - a_1 \cdot HB^2 - a_2 \cdot Al \cdot N - a_3 \cdot C + a_4 \cdot E] \pm 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

where  $T_{opt}$  is optimal recrystallization

annealing temperature, C;  $a_0=771$  C is dimensional coefficient;  $a_1= 28071^\circ\text{C}\%^2$  HB is volume fraction of non-metallic inclusions in semi-finished rolled product, %;  $a_2= 7416^\circ\text{C}/\%^2$  is dimensional coefficient; Al is mass fraction of aluminium in metal, %; N is mass fraction of nitrogen in metal, %;  $a_3= 833^\circ\text{C}/\%$  is dimensional coefficient; C is mass fraction of carbon in metal, %;  $a_4= 4,2^\circ\text{C}/\%$  is dimensional coefficient; E is total reduction at cold rolling, %. EFFECT: improved electromagnetic properties of finished isotropic steel. 5 ex, 1 tbl

RU 2 1 5 5 2 3 3 C 1

RU 2 1 5 5 2 3 3 C 1

Изобретение относится к черной металлургии, конкретно к производству холоднокатаной электротехнической изотропной стали.

Существует несколько принципиально отличающихся схем производства высококремнистой электротехнической изотропной (с неориентированной текстурой) стали. Среди них выделим две.

Первая схема направлена на получение стали с удельными ваттными потерями  $P_{1.5/50}$  менее 3.0 Вт/кг и характеризуется высокой себестоимостью из-за наличия в технологической схеме операции нормализации горячекатаного подката. Она включает в себя горячую прокатку, нормализационный отжиг, травление, холодную прокатку и заключительный обезуглероживающий и рекристаллизационный отжиги.

Вторая схема направлена на получение стали с удельными ваттными потерями  $P_{1.5/50}$  более 3.0 Вт/кг и характеризуется низкой себестоимостью из-за отсутствия в ней операции нормализации горячекатаного подката. Она включает в себя горячую прокатку, травление, холодную прокатку и заключительный обезуглероживающий и рекристаллизационный отжиги.

Предлагаемое ниже техническое решение относится ко второй схеме производства высококремнистой электротехнической изотропной стали.

Известен способ производства холоднокатаных полос из электротехнической стали с неориентированной текстурой, изложенный в заявке Японии N 61-136626, МКИ С 21 D 8/12, опубл. 24.06.86). Этот способ, характеризующийся низкой себестоимостью, состоит в следующем: сталь, содержащую Si < 4%, P < 0.04%, Al=0.009-0.1%, N=0.001-0.01%, остальное железо и другие неизбежные примеси, подвергают горячей прокатке, смотке при температуре менее 600°C, охлаждению на воздухе и холодной прокатке. Стальные полосы подвергают нагреву со средней скоростью более 5°C/с и непрерывному отжигу.

Недостатком данного способа является отсутствие регламентации температуры конечного отжига, что допускает получение в готовой отожженной стали неоптимальной структуры, приводящей к колебаниям уровня магнитных свойств, при изменениях химического состава.

Известен способ производства неориентированных стальных полос, изложенный в патенте Российской Федерации N 2000341, МКИ С 21 D 8/12, опубл. 07.09.93. Он включает горячую прокатку, нормализационный отжиг, холодную прокатку на конечную толщину, обезуглероживание и заключительный отжиг. По этому способу температуру заключительного отжига ( $t_{3.0}$ ) устанавливают в зависимости от температуры нормализации ( $t_{н.о}$ ), плавочного содержания марганца и алюминия согласно уравнению:

$$t_{3.0} = \{1385 - 0,31 \cdot t_{н.о} - c_1 \cdot (Mn\%) - c_2 \cdot (Al\%)\}^\circ C \pm 7^\circ C$$

где  $c_1 = 130^\circ C/\%$  и  $c_2 = 72^\circ C/\%$  - размерные коэффициенты.

Этот способ хотя и регламентирует температуру заключительного (рекристаллизационного) отжига, но относится

к первой схеме производства с использованием операции нормализации горячекатаного подката. В этой связи использовать результаты расчета температуры заключительного отжига по предлагаемой формуле невозможно. Кроме того, уравнение для расчета оптимальной температуры заключительного отжига не учитывает особенности состояния мелкодисперсной фазы, неметаллических включений в металле перед операцией заключительного отжига и влияния степени обжатия при холодной прокатке на изменение оптимальной температуры заключительного (рекристаллизационного) отжига.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ производства, изложенный в авт. св. СССР N 1275054, МКИ С 21 D 8/12, опубл. 07.12.86, включающий однократную холодную прокатку на конечную толщину и конечный

обезуглероживающе-рекристаллизационный отжиг в интервале температур 800-1050°C. Этот диапазон температур во многих случаях включает фактические температуры рекристаллизационного отжига, заявляемые в данном техническом решении. На этом основании данный способ выбран в качестве прототипа.

Недостатком данного способа является отсутствие регламентации оптимальной температуры рекристаллизационного отжига от химического состава стали, состояния мелкодисперсной неметаллической фазы в металле и степени об

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является улучшение магнитных свойств электротехнической изотропной стали, производимой по схеме без нормализации горячекатаного подката.

Технический результат достигается тем, что горячекатаный подкат электротехнической изотропной стали с массовой долей кремния 2.8-3.5%, алюминия 0.3-0.6% подвергают холодной прокатке, обезуглероживающему и рекристаллизационному отжигам. При этом температуру рекристаллизационного отжига устанавливают в зависимости от плавочного содержания алюминия, углерода, азота в металле, степени суммарного обжатия при холодной прокатке ( $\epsilon$ ) и объемной доли неметаллических включений (НВ) в металле согласно уравнению:

$$T_{\text{опт}} = [a_0 - a_1 \cdot \text{НВ}^2 - a_2 \cdot \text{Al} \cdot \text{N} - a_3 \cdot \text{C} + a_4 \cdot \epsilon] \pm 8^\circ \text{C},$$

где  $T_{\text{опт}}$  - оптимальная температура окончательного рекристаллизационного отжига, °C;

$a_0 = 771^\circ \text{C}$  размерный коэффициент;

$a_1 = 28071^\circ \text{C} / \%^2$  - размерный коэффициент;

НВ - объемная доля неметаллических включений в подкате, %;

$a_2 = 7416^\circ \text{C} / \%^2$  - размерный коэффициент;

Al - массовая доля алюминия в металле, %;

N - массовая доля азота в металле, %;

$a_3 = 833^\circ \text{C} / \%$  - размерный коэффициент;

C - массовая доля углерода в металле %;

$a_4 = 4,2^\circ \text{C} / \%$  - размерный коэффициент;

$\varepsilon$  - суммарное обжатие при холодной прокатке, %.

Поясним механизм влияния факторов, учитываемых при выборе оптимальной температуры рекристаллизационного отжига.

Известно, что наилучшие магнитные свойства имеет металл, в структуре которого присутствуют равноосные зерна размером 90 - 150 мкм, имеющие одинаковый размер по всему объему. На характер формирования зеренной структуры, формирующейся на стадии рекристаллизационного отжига, наряду с условиями проведения отжига, существенное влияние оказывает чистота металла по неметаллическим включениям. Особенно сильное влияние на формирование равноосной структуры оказывают мелкодисперсные включения размером менее 200 нм, именуемые мелкодисперсной фазой. Промышленный металл всегда загрязнен включениями такой фазы. Поэтому при выборе оптимальной температуры рекристаллизационного отжига необходимо учитывать состояние фазы.

Мелкодисперсная фаза, представленная в основном нитридами алюминия размером 10 - 110 нм, оказывает сдерживающее воздействие на рост зерен в ходе заключительного отжига. Количественно оценить плотность дисперсной фазы можно с использованием методов электронной микроскопии. Однако, данный способ является трудоемким, занимает длительное время на проведение оценки и потому в промышленных условиях не может быть использован. Вместе с тем, косвенную оценку плотности фазы можно выполнить по плавочному содержанию в металле азота и алюминия. Проведенные исследования показали: каждому значению алюминия и азота соответствует своя температура рекристаллизационного отжига, обеспечивающая получение равноосного зерна. Эта температура называется оптимальной температурой рекристаллизационного отжига.

Уменьшение температуры рекристаллизационного отжига относительно оптимальной как при высоком, так и при низком содержании алюминия и азота, приводит к уменьшению размера зерна и, как следствие этого, к увеличению удельных магнитных потерь за счет увеличения гистерезисной составляющей.

При высоком содержании алюминия и азота в металле увеличение температуры рекристаллизационного отжига выше оптимальной приведет к блокированию растущих зерен включениями нитридной фазы. С повышением температуры рекристаллизационного отжига происходит аномальный рост зерен, имеющих благоприятную к росту текстурную ориентировку. Развивается разнотекстурность, ухудшающая магнитные свойства отожженной стали, за счет увеличения токовихревой составляющей удельных магнитных потерь в крупных зернах.

При низком содержании алюминия и азота в металле плотность нитридной фазы меньше и она в меньшей степени сдерживает рост зерен, что допускает повышение температуры рекристаллизационного отжига при условии получения однородного зерна. В этом случае размер оптимального зерна будет больше.

Повышение температуры рекристаллизационного отжига выше оптимальной приводит к дальнейшему росту зерна, что вызывает увеличение токовихревой составляющей потерь.

5 Таким образом, каждому значению алюминия и азота должна соответствовать определенная температура отжига из условия получения равноосного, одинакового зерна оптимального размера 90 - 150 мкм.

10 Неметаллические включения размером 1-3 мкм, представленные включениями глинозема, силикатами, сложными окислами, сульфидами, нитридами, также оказывают влияние на оптимальную температуру отжига через процессы перемагничивания в готовой стали. Объемная доля неметаллических включений оценивается в горячекатаном подкате методом оптической микроскопии.

15 Чем выше в стали объемная доля крупных неметаллических включений, тем больше их плотность. Увеличение температуры рекристаллизационного отжига приводит к увеличению размера зерна. В зерне большего размера на объем одного зерна приходится большая доля неметаллических включений. При мелком зерне в структуре отожженного металла эти включения располагаются по границам зерен, их влияние на процесс перемагничивания незначительно. Однако, оказавшись внутри выросшего зерна, они начинают активно влиять на процесс перемагничивания за счет торможения доменов внутри зерна, приводящего к увеличению доли гистерезисной составляющей удельных магнитных потерь.

20 Влияние углерода (до 0.06% при содержании кремния до 3.5%) на оптимальную температуру рекристаллизационного отжига связано со снижением при увеличении его объемной доли температуры фазовых превращений, а следовательно, и температуры начала рекристаллизации. Кроме того, углерод, увеличивая долю аустенитной фазы, повышает уровень растворенного азота, который выделяется на стадии конечного отжига в виде мелкодисперсной нитридной фазы, влияние которой рассматривалось выше.

25 Влияние степени обжатия при холодной прокатке на оптимальную температуру рекристаллизационного отжига реализуется через критический размер зародышей рекристаллизованного зерна. При увеличении степени деформации размер зерна в рекристаллизованном металле уменьшается из-за уменьшения размера зародышей рекристаллизованных зерен. Следовательно, для получения одного и того же размера зерна при большей деформации требуется большая температура собирательной рекристаллизации. Поэтому увеличение степени обжатия при холодной прокатке приводит к смещению оптимальной температуры рекристаллизационного отжига в сторону больших значений.

30 Таким образом, учет вышеперечисленных факторов необходим при определении оптимальной температуры рекристаллизационного отжига, получении оптимальной структуры и высокого уровня магнитных свойств отожженной стали.

35 Анализом патентной и научно-технической литературы показано, что в предлагаемом

изобретении "способ производства холоднокатаной электротехнической изотопной стали" предлагаемое техническое решение ранее не известно и, следовательно, соответствует критерию "новизны" и "изобретательского уровня".

Примеры реализации изобретения.

Эксперименты проводились в промышленных условиях. Для проведения экспериментов использовали 10 плавок электротехнической изотропной стали, прокатанных на толщину 2.0-2.4 мм. После холодной прокатки на толщину 0.5 мм проводили заключительный

обезуглероживающе-рекристаллизационный отжиг. Каждую плавку делили на 2 части. Одну часть каждой плавки отжигали при температуре заключительного

рекристаллизационного отжига, равной 1010 °С в соответствии с действующей на НЛМК технологией отжига электротехнической изотропной стали 4-ой группы легирования, производимой по схеме без нормализации горячекатаного подката.

Другую половину каждой плавки отжигали при температуре, рассчитанной по предлагаемому способу в зависимости от содержания углерода, алюминия, азота, степени суммарного обжатия при холодной прокатке и объемной доли неметаллических включений. Оценку эффективности предлагаемого технического решения осуществляли путем сравнения удельных ваттных магнитных потерь  $P_{1.5/50}$  по заявляемому и известному способам. Исходные данные, необходимые для расчета оптимальной температуры рекристаллизационного отжига, и полученные результаты приведены в таблице.

Из анализа результатов промышленных экспериментов следует, что при отжиге

электротехнической изотопной стали по предлагаемому способу улучшение показателя удельных ваттных потерь  $P_{1.5/50}$  составляет от 0.05 до 0.23 Вт/кг.

Таким образом, проведение рекристаллизационного отжига по предлагаемому способу позволяет снизить уровень  $P_{1.5/50}$  в среднем на 0.11 Вт/кг для стали толщиной 0.5 мм и повысить марочный состав изготавливаемой стали.

#### Формула изобретения:

Способ производства холоднокатаной электротехнической изотропной стали, содержащей 2,8 - 3,5% Si и 0,3 - 0,6% Al, включающий холодную прокатку, обезуглероживающий и рекристаллизационный отжиги, отличающийся тем, что температуру рекристаллизационного отжига определяют из соотношения

$$T_{\text{отт}} = [a_0 - a_1 \cdot \text{HB}^2 - a_2 \cdot \text{Al} \cdot \text{N} - a_3 \cdot \text{C} + a_4 \cdot \varepsilon] \pm 8^\circ\text{C},$$

где  $T_{\text{отт}}$  - оптимальная температура рекристаллизационного отжига, °С;

$a_0 = 771^\circ\text{C}$  - размерный коэффициент;

$a_1 = 28071^\circ\text{C}/\% ^2$  - размерный коэффициент;

HB - объемная доля неметаллических включений в подкате, %;

$a_2 = 7416^\circ\text{C}/\% ^2$  - размерный коэффициент;

Al - массовая доля алюминия в металле, %;

N - массовая доля азота в металле, %;

$a_3 = 833^\circ\text{C}/\%$  - размерный коэффициент;

C - массовая доля углерода в металле, %;

$a_4 = 4,2^\circ\text{C}/\%$  - размерный коэффициент;

$\varepsilon$  - суммарное обжатие при холодной прокатке, %.

40

45

50

55

60

RU 2155233 C1

№ опыта	Массовая доля элементов, %			Степень обжата %	Объемная доля немет. включений %	Т-ра рекристаллизационного отжига расчетная °С	Т-ра рекристаллизационного отжига фактическая °С	P <sub>1,5/50</sub> Вт/кг
	С	Al	N					
1	0,04	0,45	0,010	76,9	0,041	980	980 по известному способу	3,10 3,33
2	0,04	0,34	0,005	77,7	0,027	1031	1030 по известному способу	3,29 3,34
3	0,03	0,43	0,005	77,5	0,026	1037	1035 по известному способу	3,08 3,25
4	0,05	0,36	0,005	77,6	0,024	1026	1025 по известному способу	3,25 3,31
5	0,025	0,43	0,006	77,4	0,020	1045	1045 по известному способу	3,36 3,48
6	0,04	0,36	0,005	77,3	0,026	1030	1030 по известному способу	3,30 3,37
7	0,04	0,46	0,006	77,9	0,021	1032	1030 по известному способу	3,32 3,45
8	0,04	0,48	0,005	76,9	0,024	1027	1025 по известному способу	3,18 3,25
9	0,04	0,44	0,009	75,5	0,041	978	975 по известному способу	3,34 3,44
10	0,03	0,49	0,007	78,5	0,026	1031	1030 по известному способу	3,14 3,22

RU 2155233 C1