

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2525584

**СПОСОБ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ СЛЯБА ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" (ФГБОУ ВПО "СПбГПУ") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012157945

Приоритет изобретения **27 декабря 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **23 июня 2014 г.**

Срок действия патента истекает **27 декабря 2032 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012157945/28, 27.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2012

(45) Опубликовано: 20.08.2014 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2404872C1, 27.11.2010. SU
1453311A1, 23.01.1989. RU 3818U1, 16.03.1997.
US 4175442A, 27.11.1979. US 6666094B1,
23.12.2003

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая,
29, ФГБОУ ВПО "СПбГПУ", Отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Носов Виктор Владимирович (RU),
Синчугов Илья Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

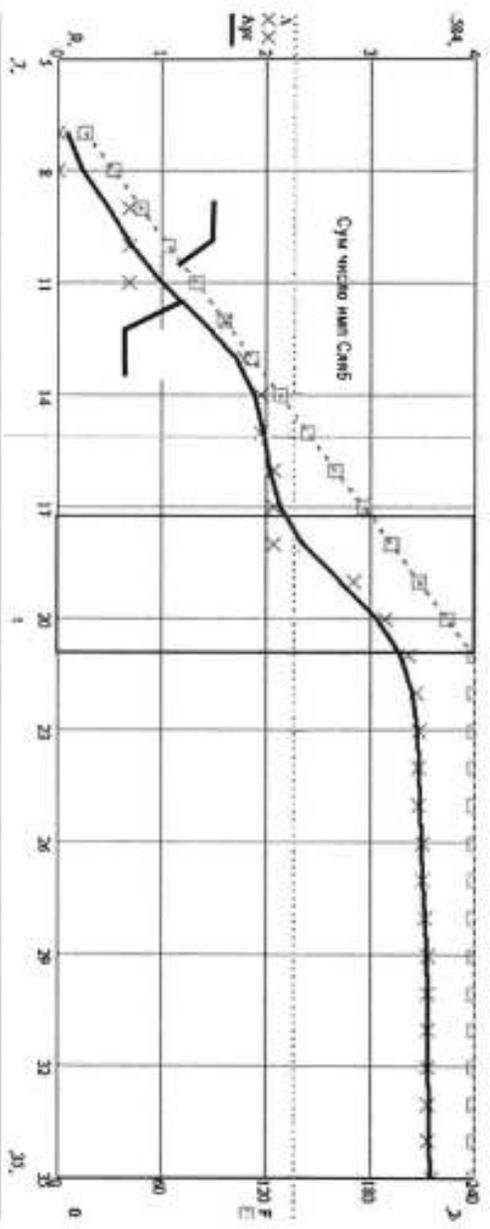
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Санкт-
Петербургский государственный
политехнический университет" (ФГБОУ
ВПО "СПбГПУ") (RU)

(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ СЛЯБА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ

(57) Реферат:

Использование: для контроля дефектности сляба. Сущность изобретения заключается в том, что выполняют установку датчиков акустической эмиссии на поверхности холодного сляба в порядке, обеспечивающем контроль всего материала сляба, механическое нагружение сляба за счет использования собственного веса сляба до напряжений от 20 до 80% предела текучести материала сляба, выдержку под нагрузкой не менее 1 мин, регистрацию сигналов акустической

эмиссии и их обработку, определение координат источников акустической эмиссии и определение возможности дальнейшего использования сляба в производстве горячекатаной полосы путем сравнения диагностического параметра $W_{AЭ}$ с допустимым значением диагностического параметра $[W_{AЭ}]$ и при $W_{AЭ} > [W_{AЭ}]$ сляб считают непригодным для дальнейшей прокатки. Технический результат: повышение оперативности и точности контроля. 1 ил.



Фиг. 1

R U 2 5 2 5 5 8 4 C 1

R U 2 5 2 5 5 8 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012157945/28, 27.12.2012

(24) Effective date for property rights:
27.12.2012

Priority:

(22) Date of filing: 27.12.2012

(45) Date of publication: 20.08.2014 Bull. № 23

Mail address:

195251, Sankt-Peterburg, ul. Politekhnikeskaja, 29,
FGBOU VPO "SPbGPU", Otdel intellektual'noj
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Nosov Viktor Vladimirovich (RU),
Sinchugov Il'ja Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Sankt-
Peterburgskij gosudarstvennyj politekhnicheskij
universitet" (FGBOU VPO "SPbGPU") (RU)

(54) **FLAW CONTROL OF SLABS FOR PRODUCTION OF HOT-ROLLED STRIP**

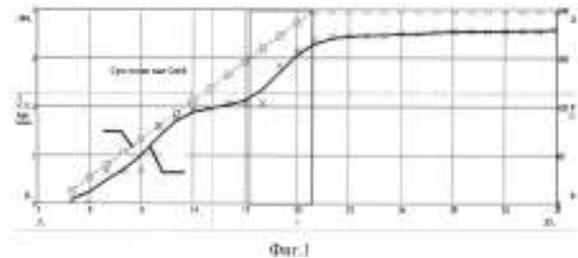
(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: acoustic emission transducers are fitted at cold slab surface in the order that allows the control over the entire material of slab. Slab is mechanically strained by slab natural weight to 20-80% of slab material yield point. Strained slab is kept under stress for at least one minute to register acoustic emission signals for their processing. Acoustic emission source coordinates are determined to define the possibility of further use of the slab for production of hot-rolled strip by comparison of diagnostics parameter WAE with tolerable diagnostics parameter magnitude

[WAE]. At WAE >[WAE] slab is considered unfit for further rolling.

EFFECT: comprehensive and accurate control.
1 dwg



R U
2 5 2 5 5 8 4
C 1

R U
2 5 2 5 5 8 4
C 1

Изобретение относится к акустическим методам неразрушающего контроля и предназначено для контроля поверхностных и внутренних дефектов холодных слябов для производства горячекатаной полосы.

Известен способ определения нарушений сплошности металла в слитках, использующий для выявления дефектов слябов и определения их точного места нахождения метод ультразвукового контроля. Метод использует маркировку сляба для дальнейшей возможности слежения за его трансформациями в процессе прокатки [АС №1117094]. Недостатками данного способа являются значительные затраты времени на проведение контроля, наличие контактных поверхностей, подвергающихся интенсивному износу, высокая требовательность к качеству контакта датчиков с поверхностью, отсутствие четкой классификации степени опасности выявленных в ходе контроля дефектов.

Известен способ контроля поверхностных дефектов горячих слябов, использующий для контроля эффект преобразования дефектами поверхностного слоя металла энергии лазера в акустический сигнал, а для уменьшения влияния помех на регистрируемый сигнал зону контроля охлаждают, что приводит к уменьшению затухания сигналов только в этой области [АС №1453311]. Недостатками этого способа являются необходимость осуществления контроля прохождения датчиков вдоль всей площади поверхности сляба, что значительно затрудняет процесс контроля и удорожает его. Кроме того, способ указывает на наличие несплошностей, их координат и геометрических параметров без выявления других не менее важных характеристик, указывающих на возможность дальнейшего развития дефекта, и невозможность контролировать наличие дефектов во внутреннем слое сляба.

Наиболее близким, выбранным за прототип, является способ контроля сляба для производства горячекатаной полосы [Патент №2404872]. Способ заключается в том, что в контролируемом слябе инициируют акустическую эмиссию и регистрируют ее сигналы. Проводят обработку сигналов и по совокупности полученных данных определяют возможность дальнейшего использования сляба в производстве горячекатаной полосы. При этом для контроля используют холодный сляб, на его поверхности стационарно устанавливают датчики акустической эмиссии в порядке, обеспечивающем контроль всего материала сляба и определение координат источников сигнала. Сляб механически нагружают, используя собственный вес сляба, до напряжений от 20 до 80 процентов предела текучести материала сляба, выдерживают под нагрузкой не менее 1 минуты. Полученные сигналы акустической эмиссии обрабатывают с помощью компьютера, по полученным данным судят о наличии зон повышенной активности изменения структуры материала и возможности дальнейшего развития дефекта в этой зоне при производстве горячекатаной полосы.

Недостатком этого метода является: отсутствие алгоритма определения параметров диагностического нагружения слябов; отсутствие технологии определения наиболее информативных, с точки зрения контроля дефектности полосы, параметров акустической эмиссии, которая позволила бы определить дефектность слябов, что приводит к недостаточной оперативности и точности контроля.

Задачей изобретения является повышение оперативности и точности контроля.

Для решения задачи предложен способ контроля сляба для производства горячекатаной полосы. На поверхности контролируемого сляба, находящегося в холодном состоянии, устанавливают датчики акустической эмиссии. Количество датчиков и порядок их расположения обеспечивает контроль всего материала сляба с определением координат источников сигнала. Затем инициируют излучение сигналов

акустической эмиссии с поверхности сляба путем его механического нагружения, которое создают, используя собственный вес сляба, например, поднимают сляб с помощью кранового оборудования. Нагружают сляб до напряжений, близких по модулю к пределу текучести материала сляба, но не превышающих его - от 20 до 80% предела текучести материала сляба. Выдерживают сляб в нагруженном состоянии не менее 1 минуты, затем сляб опускают. В процессе перечисленных выше технологических операций непрерывно осуществляют регистрацию сигналов акустической эмиссии. На первом этапе определяют допустимое значение диагностического параметра, который вычисляют по формуле:

$$[W_{АЭ}] = \ln\left(\frac{\tau_0}{\theta_T}\right) + \frac{U_0}{KT'}$$

где $\tau_0 = 10^{-12} \div 10^{-14}$ с - период атомных колебаний; $U_0/KT = 50 \div 59$; U_0 - энергия активации процесса разрушения; K - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура; $\theta_T =$ время технологического воздействия валка на раскатываемую часть листа (уточняется по технологическим данным или расчетным путем); θ_T - время технологического воздействия валка на раскатываемую часть листа вычисляют по формуле:

$$\theta_T = \frac{0,5 \cdot \sqrt{(H - h)(2D - H + h)}}{n \cdot D \cdot \pi},$$

$$i \cdot 60 \cdot 1000$$

где D - диаметр рабочей поверхности валков; H - толщина сляба до обработки; h - толщина сляба после обработки; n - частота вращения двигателя; i - передаточное отношение привода. По полученным при регистрации сигналов АЭ данным определяют диагностический параметр:

$$W_{АЭ} = \frac{\ln \xi_2 - \ln \xi_1}{K_{H2} - K_{H1}},$$

где ξ_1, ξ_2 - значения информативного акустико-эмиссионного параметра при максимальных напряжениях в сечении $\sigma_{max1}, \sigma_{max2}$ в образце при диагностическом нагружении в разный момент времени; K_{H1} и K_{H2} - коэффициенты нагрузки, определяемые по формулам:

$$K_{H2} = \frac{\sigma_{max 2}}{\sigma_T}, K_{H1} = \frac{\sigma_{max 1}}{\sigma_T},$$

где σ_T - предел текучести материала. Сравнивают диагностический параметр $W_{АЭ}$ с допустимым значением диагностического параметра $[W_{АЭ}]$. Критерий состояния пригодного для дальнейшей обработки сляба выглядит следующим образом: $W_{АЭ} < [W_{АЭ}]$. По полученным данным судят о наличии зон повышенной активности изменения структуры металла в локальных зонах сляба и возможности развития в них дефектов при производстве горячекатаной полосы посредством прокатки. С повышением значения диагностического параметра $W_{АЭ}$, вероятность проявления дефектов в слябе с перспективой их развития в процессе обработки сляба увеличивается вплоть до необходимости отбраковки сляба. Снижение значения указывает на меньшую дефектность материала сляба.

Определение диагностического параметра $W_{АЭ}$ и сравнение его значения с

допустимым позволяет судить о годности сляба и значительно упростить процесс дефектоскопии. Допустимое значение диагностического параметра $[W_{AЭ}]$ может быть определено независимо от объекта контроля на образцах, выполненных из одинакового со слябом материала, и способа нагружения. Таким образом, нет необходимости в определении допустимого диагностического параметра для каждого сляба и проведении длительных дорогостоящих предварительных тарировочных испытаний по оценке допустимого значения диагностического параметра, что повышает оперативность способа контроля.

Проведенные эксперименты зависимости показали высокую степень корреляции параметра $W_{AЭ}$ с параметрами дефектности полосы и малое влияние на точность результатов изменения условий контроля. Значение коэффициента корреляции значений диагностического параметра $W_{AЭ}$ и суммарной длины дефектов для образцов составило 0,74, что подтверждает высокую точность контроля дефектности сляба. Таким образом, отличительные признаки являются необходимыми и достаточными для решения поставленной задачи.

Нагрузка менее 20 процентов не достаточна для инициирования четкого сигнала акустической эмиссии, а нагрузка выше 80 процентов не рекомендуется, в целях устранения возможности случайного превышения напряжений предела текучести и повреждения сляба. Сляб выдерживают в нагруженном состоянии не менее одной минуты, после чего опускают. Данное время необходимо и достаточно для регистрации сигналов акустической эмиссии, большой промежуток времени не целесообразен, так как при увеличении затрат времени результат остается прежним. После опускания сляба регистрацию сигналов акустической эмиссии прекращают.

В зависимости от требуемой точности количество и способы расположения пьезоэлектрических датчиков могут варьироваться (для обеспечения распознавания пространственных, плоских, или линейных координат расположения дефектов), при этом число датчиков, в зону действия которых входит любая точка сляба, должно быть на один больше, чем число осей координат, по которым проводится контроль, а их расположение должно обеспечивать однозначное определение любой точки на слябе, входящей в зону их контроля, относительно их местоположения как геометрическое место точек, имеющих определенную разность расстояний до датчиков. Длина сляба подобрана в соответствии с параметрами материала, при поднятии сляба с помощью кранового оборудования, напряжения, возникающие внутри сляба, близки к пределу текучести, но не превышают его. Таким образом, нагружая сляб собственным весом с помощью кранового оборудования, в слябе возникают напряжения, достаточные для инициации акустической эмиссии, в то же время нет перекрытия сигналов, связанных с пластическими деформациями в материале. Эти напряжения схожи с напряжениями, действующими в слябе во время производства горячекатаной полосы, а сигналы акустической эмиссии, зарегистрированные в момент действия этих сил, дают информацию о возможных зонах образования и развития дефектов при прокатке. В целях предупреждения возникновения помех, вносящих искажения в полученные результаты, не следует применять крановое оборудование с электромагнитным устройством фиксации груза для подъема сляба во время нагружения. В течение всех вышеперечисленных операций осуществляют регистрацию сигналов акустической эмиссии. После окончания нагружения датчики снимают со сляба.

Реализация способа проводилась при диагностировании годного сляба в ходе промышленных экспериментов. Нагружение холодного сляба его собственным весом

производилось с использованием кранового оборудования, что привело к появлению максимальных растягивающих напряжений на поверхности, составляющих 40-60% от предела текучести и обеспечило высокую вероятность регистрации сигналов акустической эмиссии. Датчики акустической эмиссии устанавливали в средней части 5 холодного сляба на расстоянии около 2 м друг от друга (наибольшее расстояние, обеспечивающее высокую вероятность приема сигнала для данного объекта). Для регистрации импульсов акустической эмиссии использовали двухканальную измерительную акустико-эмиссионную систему. На первом этапе определяли допустимое значение диагностического параметра:

$$10 \quad [W_{\text{АЭ}}] = \ln \left(\frac{\tau_0}{\theta_T} \right) + \frac{U_0}{KT'}$$

где $\tau_0 = 10^{-12} \div 10^{-14}$ с - период атомных колебаний; $U_0/KT = 50 \div 59$; U_0 - энергия активации 15 процесса разрушения; K - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура; время технологического воздействия валка на раскатываемую часть листа $\theta_T = 0,19$ взято из технологический данных.

$$20 \quad [W_{\text{АЭ}}] = \ln \left(\frac{10^{-12} \div 10^{-14}}{0,19} \right) + 50 \div 59 \approx 20 \div 30 .$$

При обработке результатов регистрации сигналов АЭ определяли значение диагностического параметра $W_{\text{АЭ}}$. В качестве первичного информативного параметра акустической эмиссии используется суммарное число импульсов. На фигуре 1 25 представлены графики временных зависимостей логарифма суммарного числа сигналов (1) для стального сляба и роста значений напряжений (2); прямоугольником выделен участок, используемый для определения диагностического параметра $W_{\text{АЭ}}$, соответствующий однородному разрушению перед возникновением локальной текучести. Максимальными напряжениями $\sigma_{\text{max}1}$, $\sigma_{\text{max}2}$ являются напряжения, соответствующие максимальным и минимальным напряжениям выделенного участка.

$$30 \quad W_{\text{АЭ}} = \frac{\ln \xi_2 - \ln \xi_1}{K_{\text{H}2} - K_{\text{H}1}} ,$$

где $\ln \xi_1 = \ln 8 = 2,08$; $\ln \xi_2 = \ln 31 = 3,43$ - значения информативного акустико-эмиссионного 35 параметра при максимальных напряжениях в сечении $\sigma_{\text{max}1} = 180$ МПа, $\sigma_{\text{max}2} = 240$ МПа в образце при диагностическом нагружении в разный момент времени; $K_{\text{H}1}$ и $K_{\text{H}2}$ - коэффициенты нагрузки, определяемые по формулам:

$$40 \quad K_{\text{H}2} = \frac{\sigma_{\text{max}2}}{\sigma_T}, \quad K_{\text{H}1} = \frac{\sigma_{\text{max}1}}{\sigma_T} ;$$

$\sigma_T = 500$ МПа - предел текучести материала сляба.

$$K_{\text{H}2} = \frac{240}{500} = 0,48 ; \quad K_{\text{H}1} = \frac{\sigma_{\text{max}1}}{500} = 0,36 .$$

$$45 \quad W_{\text{АЭ}} = \frac{31 - 8}{0,48 - 0,36} = 11,2 .$$

Полученное значение диагностического параметра не превышает допустимое значение диагностического параметра $W_{\text{АЭ}} < [W_{\text{АЭ}}]$, что, согласно предложенному

диагностическому признаку, позволяло отнести диагностируемый сляб к заготовке удовлетворительного качества.

Способ позволяет повысить оперативность и точность контроля, классифицировать дефекты не по косвенным признакам (размер, расположение, форма дефекта), имеющим влияние на качество полученного проката, а по таким характеристикам, как перспективность развития дефекта в локальных зонах и влияние изменения действующих напряжений на активность изменения структуры сляба. Отличительной чертой способа является также использование только механического нагружения, так как использование других может привести к появлению акустических помех, несущих ложную информацию о качестве сляба.

Формула изобретения

Способ контроля дефектов сляба для производства горячекатаной полосы, включающий иницирование акустической эмиссии путем установки датчиков акустической эмиссии на поверхности холодного сляба в порядке, обеспечивающем контроль всего материала сляба и определение координат источников сигнала акустической эмиссии, механическое диагностическое нагружение сляба за счет использования собственного веса сляба до напряжений от 20 до 80% предела текучести материала сляба, выдержку под нагрузкой не менее 1 мин, обработку результатов регистрации сигналов акустической эмиссии, определение возможности дальнейшего использования сляба в производстве горячекатаной полосы, отличающийся тем, что на первом этапе определяют допустимое значение диагностического параметра:

$$[W_{АЭ}] = \ln\left(\frac{\tau_0}{\theta_T}\right) + \frac{U_0}{KT},$$

где $\tau_0 = 10^{-12} \div 10^{-14}$ с - период атомных колебаний; θ_T - время технологического воздействия валка на раскатываемую часть листа (уточняется по технологическим данным или расчетным путем); $U_0/KT = 50 \div 59$; U_0 - энергия активации процесса разрушения; K - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура, и далее при обработке сигналов с датчиков определяют значение диагностического параметра:

$$W_{АЭ} = \frac{\ln \xi_2 - \ln \xi_1}{K_{H2} - K_{H1}},$$

где ξ_1, ξ_2 - значения первичного информативного акустико-эмиссионного параметра при максимальных напряжениях в сечении $\sigma_{max1}, \sigma_{max2}$ в слябе при диагностическом нагружении в разный момент времени; K_{H1} и K_{H2} - коэффициенты нагрузки, определяемые по формулам:

$$K_{H2} = \frac{\sigma_{max2}}{\sigma_T}, \quad K_{H1} = \frac{\sigma_{max1}}{\sigma_T},$$

где σ_T - предел текучести материала,

сравнивают диагностический параметр $W_{АЭ}$ с допустимым значением диагностического параметра $[W_{АЭ}]$ и при $W_{АЭ} > [W_{АЭ}]$ сляб считают непригодным для дальнейшей прокатки.