РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 408 445** (13) **C2**

(51) МПК
B21B 37/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2006130369/02, 14.01.2005**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.01.2005

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
23.01.2004 DE 102004003514.8

(43) Дата публикации заявки: **27.02.2008** Бюл. № 6

(45) Опубликовано: **10.01.2011** Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **WO 99/02282 A1, 21.01.1999. RU 2156667 C1, 27.09.2000. RU 2067905 C1, 20.10.1996. DE 4410960 A1, 02.11.1995. EP 0684090 A1, 29.11.1995.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **23.08.2006**

(86) Заявка PCT:
EP 2005/000348 (14.01.2005)

(87) Публикация заявки PCT:
WO 2005/070575 (04.08.2005)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):
ЛИКСФЕЛЬД Петер (DE),
СКОДА-ДОПП Ульрих (DE),
ВЕХАГЕ Харальд (DE),
ГРИММ Вольфганг (DE),
БОРОВИКОВ Александер (DE),
БЛАЙ Хольгер (DE)

(73) Патентообладатель(и):
СМС ЗИМАГ АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА, В ЧАСТНОСТИ, АБСОЛЮТНОЙ ТОЧНОСТИ ПО ТОЛЩИНЕ И НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СТАЛИ ИЛИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области прокатки материалов. Технический результат - повышение стабильности процесса, в частности, абсолютной точности по толщине и надежности агрегата при горячей прокатке стали или материалов из цветного металла. При прокатке с небольшими степенями деформации (φ) или небольшими обжатиями учитывают предел текучести (R_e) при повышенной температуре при вычислении номинального прокатного усилия (F_W) и соответствующей позиции регулировки (s). Возможно увеличивать точность в отношении предела текучести ($k_{f,R}$) и номинального прокатного усилия (F_W) при небольших степенях деформации (φ) или небольших съемах посредством того, что предел

RU 2408445 C2

RU 2408445 C2

текучести (R_e) при повышенной температуре рассчитывается в зависимости от температуры (T) деформации и/или скорости (phip) деформации и встраивается в функцию предела текучести ($k_{f,R}$) для определения номинального прокатного усилия (Fw) через соотношение

$$R_e = a + e^{b1+b2\cdot T} \cdot phip^c \quad (2)$$

, где P_e - предел текучести при повышенной температуре, T - температура деформации, phip - скорость деформации, a; b; c - коэффициенты. 3 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2408445 C2

RU 2408445 C2

RUSSIAN FEDERATION

(19) **RU** (11) **2 408 445** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
B21B 37/00 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2006130369/02, 14.01.2005**

(24) Effective date for property rights:
14.01.2005

Priority:
(30) Priority:
23.01.2004 DE 102004003514.8

(43) Application published: **27.02.2008** Bull. 6

(45) Date of publication: **10.01.2011 Bull. 1**

(85) Commencement of national phase: **23.08.2006**

(86) PCT application:
EP 2005/000348 (14.01.2005)

(87) PCT publication:
WO 2005/070575 (04.08.2005)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):
LIKSFEL'D Peter (DE),
SKODA-DOPP Ul'rikh (DE),
VEKhAGE Kharal'd (DE),
GRIMM Vol'fgang (DE),
BOROVIKOV Aleksander (DE),
BLAJ Khol'ger (DE)

(73) Proprietor(s):
SMS ZIMAG AKTsIENGEZELL'ShAFT (DE)

RU 2408445 C2

(54) METHOD OF INCREASING PROCESS STABILITY, IN PARTICULAR ABSOLUTE ACCURACY OF THICKNESS, AND RELIABILITY OF STEEL OR NONFERROUS METAL HOT ROLLING UNITS

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to rolling process. In rolling at minor strain (φ) or minor squeezing, yield point (R_e) is allowed for at increased temperature in calculating rated rolling force (F_w) and corresponding adjustment position (s). It is possible to increase accuracy with respect to yield point ($k_{f,R}$) and rated rolling force (F_w) at minor strain (φ) or at minor reduction by calculating yield point (R_e) at increased temperature depending upon deformation temperature (T) and/or deformation rate (phip) to be introduced in the function of yield point ($k_{f,R}$) to determine rated rolling force (F_w) via relationship $R_e=a+e^{b1+b2\cdot T}\cdot phip^c$ (2), where R_e is yield point at increased temperature, T is deformation temperature, a, b, c are deformation rate, and a; b; c are coefficients.

EFFECT: higher stability, absolute accuracy with respect to thickness and reliability in hot rolling of steel or nonferrous metals.

4 cl, 2 dwg

RU 2408445 C2

Изобретение касается способа повышения стабильности процесса, в частности, абсолютной точности по толщине и надежности агрегатов при горячей прокатке стали или цветных металлов с небольшими степенями деформации или с небольшими обжатиями с учетом предела текучести при повышенных температурах при расчете номинального прокатного усилия и соответствующей позиции регулировки.

В ранней публикации «Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren» A. Hensel und T. Spittel, Leipzig 1978 [«Метод формообразования с невысокими энергозатратами и рабочими затратами» А. Хенсель и Т. Шпиттель, Лейпциг 1978], и в последующей публикации «Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen» T. Spittel und A. Hensel, Leipzig 1981 [«Рациональное использование энергии при процессах формообразования» Т. Шпиттелль и А. Хенсель, Лейпциг 1981], описываются различные методы для вычисления номинального прокатного усилия при горячей прокатке в виде произведения сопротивления деформации на площадь обжатия. Само сопротивление деформации определяется как произведение предела текучести на коэффициент, учитывающий геометрию очага деформации и/или соотношение сил трения. Используемый чаще всего метод для вычисления предела текучести предусматривает его определение путем составления уравнения с коэффициентами для учета влияния температуры деформации, степени деформации и скорости деформации, которые мультипликативно связываются друг с другом, например, в следующей форме:

$$k_f = k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m2} \cdot A_3 \cdot phip^{m3} \qquad (1)$$

где

k_f - предел текучести,

k_{f0} - исходная величина предела текучести,

T - температура деформации,

φ - степень деформации,

phip - скорость деформации,

A_i, m_i - термодинамические коэффициенты.

Для разных групп материала определялись термодинамические коэффициенты; различие материалов в пределах группы происходит через соответствующую исходную величину k_{f0}.

В следующей публикации «Modellierung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Umformbedingungen auf die Flieäspannung von Stßhlen bei der Warmumformung» M. Spittel und T. Spittel, Freiberg 1996 [«Моделирование влияния химического состава и условий формообразования на предел текучести сталей при горячей прокатке» М. Шпиттель и Т. Шпиттель, Фрейберг 1996], дополнительно предлагается рассчитывать исходную величину предела текучести материала в зависимости от его химического анализа и использовать остальные параметры для учета температуры, степени деформации и скорости деформации в соответствии с группой материала. Принципиально, тем не менее, остается мультипликативный характер выражения, согласно уравнению (1).

Недостаток мультипликативного математического выражения для вычисления предела текучести состоит в том, что функция для степеней деформации $\varphi<0{,}04$ или при уменьшающихся обжатиях стремится в отношении предела текучести к нулю MPa, то есть функция снижается до нуля (показано на фиг.1). Тем не менее, эта теория противоречит фактическим данным. Как следствие, при незначительных обжатиях

вычисляются слишком малые величины предела текучести и при этом - слишком небольшие номинальные прокатные усилия. Задание очага деформации путем регулировки толщины зависит также от прокатного усилия и таким образом осуществляется с ошибками. Поэтому горячекатаные продукты обладают большей фактической толщиной по сравнению с желаемой толщиной.

Неточное вычисление номинального прокатного усилия при незначительных степенях деформации и, соответственно, обжатиях создает постоянную угрозу агрегату при прокатке с высокими прокатными усилиями и/или прокатными моментами вблизи максимально допустимых параметров агрегатов, как это проявляется, например, при прокатке при пониженных температурах, или же также при высоких температурах и ширинах катаного материала, приближающихся к максимально технически возможным для данного агрегата.

Неточное вычисление номинального прокатного усилия ухудшает также стабильность процесса, и в целом негативно, поскольку подключенные автоматизированные модели, как, например, модели и, соответственно, регулирующие качество профиля и плоскостность, рассчитывают параметры установки с учетом номинального прокатного усилия.

Из документа WO 93/11 886 A1 известен способ расчета прокатного плана для установки номинального прокатного усилия и номинального раствора валков прокатной клети, который требует специфичных для клети и/или специфичных для материала согласующих коэффициентов прокатного усилия. Специфичные для клети установки являются невыгодными при вычислении номинального прокатного усилия для возможного перенесения на другие агрегаты.

Из документа WO 99/02 282 A1 следует известный способ управления и, соответственно, предварительной установки прокатной клети в зависимости, по меньшей мере, от одной из величин прокатного усилия, прокатного момента, и опережения, при котором моделирование влияний идет посредством базирующейся на нейронных сетях обработки информации или посредством инвертированной модели прокатки, - через обратный расчет твердости материала в пропускаемой заготовке с помощью регрессионной модели. Погрешностей, которые возникают при вычислении номинального прокатного усилия по мультипликативной формуле в диапазоне маленьких степеней деформации или съемов, можно таким образом избегать. Тем не менее, недостатком является то, что для адаптирования нейронной сети и, соответственно, для инвертированной модели прокатки должны первоначально существовать результаты прокатки. Переложение предложенного способа на еще не катаные материалы или на агрегаты с другими параметрами, таким образом, непосредственно не гарантировано.

Проиллюстрированному состоянию техники присуще то, что эффект влияния небольших степеней деформации или небольших обжатий на предел текучести при горячей прокатке стали и цветного металла в рамках известных методов не учитывается корректно при вычислении номинального прокатного усилия и для регулировки толщины, или учитывается недостаточно, или возможность перенесения на другие агрегаты ограничена, и таким образом существует риск для стабильности процесса, в частности для абсолютной точности по толщине и безопасности установки.

В основе изобретения лежит задача создать способ повышения стабильности процесса, в частности, абсолютной точности по толщине и надежности агрегата при горячей прокатке стали и материалов из цветного металла, при котором может увеличиваться точность расчетов предела текучести и номинального прокатного

усилия при небольших степенях деформации или небольших обжатиях.

Поставленная задача решается согласно изобретению посредством того, что предел текучести при повышенной температуре рассчитывается в зависимости от температуры деформации и/или скорости деформации и встраивается в функцию предела текучести для определения номинального прокатного усилия посредством соотношения:

$$R_e=a+e^{b1+b2\cdot T}\cdot phip^{c} \qquad (2),$$

в то время как мультипликативное выражение кривых для предела текучести при повышенной температуре в зависимости от температуры деформации и скорости деформации определяется согласно формуле:

$$k_{f,R}=a+e^{b1\cdot b2\cdot T}\cdot phip^{c}+k_{f0}\cdot A_1\cdot e^{m1\cdot T}\cdot A_2\cdot\varphi^{m2}\cdot A_3\cdot phip^{m3} \qquad (3),$$

причем

R_e - предел текучести при повышенной температуре,

T - температура деформации,

phip - скорость деформации,

a; b; c - коэффициенты.

На основе соответствующего изобретению учета предела текучести при повышенной температуре в зависимости от температуры деформации и скорости деформации способ даже для самых маленьких степеней деформации дает правильные значения. Начальное значение - это соответствующий предел текучести при повышенной температуре прокатываемого материала в зависимости от температуры деформации и скорости деформации.

Преимущество при использовании нового математического выражения для вычисления предела текучести состоит в том, что пределы текучести при повышенной температуре для прокатываемых материалов рассчитываются из результатов измерения при прокатке с меньшими степенями деформации чем специфичная для материала предельная степень деформации, в то время как пределы текучести соответствующих пропускаемых заготовок в зависимости от температуры деформации и скорости деформации получаются обратным расчетом из измеренных прокатных усилий и приравниваются к пределу текучести при повышенной температуре, если они равняются измеренным при горячих испытаниях на растяжение пределам текучести при повышенной температуре. Найденная зависимость предела текучести при повышенной температуре от температуры деформации и скорости деформации представляет собой исходную точку аппроксимированной кривой теплового потока.

Далее согласно изобретению предлагается, что предел текучести определяется в обычном уравнении прокатного усилия для вычисления номинального прокатного усилия при регулировке толщины, а также для расчетных моделей и методов регулировки согласно следующему уравнению:

$$F_W=Q_P\cdot k_{f,R}\cdot B\cdot(R_W\cdot(ho-h1))^{1/2} \qquad (4),$$

причем обозначено:

F_W - номинальное прокатное усилие,

Q_p - функция для учета геометрии очага деформации и соотношений сил трения,

$k_{f;R}$ - предел текучести, учитывая предел текучести при пластической деформации при повышенной температуре,

B - ширина прокатываемого материала,

R_W - радиус валков,

h_0 - толщина перед пропуском через валки,

h_1 - толщина после пропуска через валки.

На дальнейшем этапе исполнения изобретения предусмотрено, что на основе номинального прокатного усилия рассчитывается модуль материала, учитывая предел текучести при повышенной температуре в зависимости от температуры деформации и скорости деформации для меньших степеней деформации, чем специфичная для материала предельная степень деформации, согласно формуле

$$C_M=(F_W-F_m)/dh_1 \quad (5),$$

где обозначено:

C_M - модуль материала,

F_W - номинальное прокатное усилие,

F_m - измеренное прокатное усилие,

dh_1 - изменение выходной толщины.

Изобретение предусматривает то, что обычное калибровочное уравнение расширяется в форму

$$ds_{AGC}=(1+C_M/C_G)dh_1=(1+C_M/C_G)\cdot((F_W-F_m)/C_G+s-s_{soll}) \quad (6),$$

причем обозначено:

ds_{AGC} - изменение установки очага деформации,

C_M - модуль материала

C_G - модуль прокатной клети,

dh_1 - изменение выходной толщины,

F_W - номинальное прокатное усилие,

F_m - измеренное прокатное усилие,

s - установка очага деформации,

s_{soll} - номинальная установка очага деформации.

Вследствие этого, теперь правильно отображается характеристика текучести материала также при небольших степенях деформации или обжатиях.

На основании калибровочного уравнения и рассчитанного прокатного усилия определяется установочная позиция электромеханических и/или гидравлических регулировок для гарантии нужной выходной толщины прокатываемого материала.

На чертежах показаны диаграммы для предела текучести в зависимости от степени деформации, согласно нынешнему уровню техники и согласно изобретению, что ниже разъясняются подробнее.

Чертежи показывают:

Фиг.1 схематически, предел текучести k_f в зависимости от степени деформации φ при обычной мультипликативной математической записи согласно состоянию техники,

Фиг.2 схематически, предел текучести $k_{f,R}$ в зависимости от степени деформации φ согласно изобретению, причем ниже пограничной степени деформации φ_G мультипликативное выражение дополнительно расширено с учетом предела текучести при пластической деформации при повышенной температуре.

Недостаток мультипликативного выражения для вычисления предела текучести

(фиг.1) состоит в том, что функция предела текучести k_f при небольших степенях деформации $\varphi<0,04$ или небольших обжатиях стремится к нулю МПа, то есть функция проходит через ноль, как представлено.

Соответствующий изобретению учет (фиг.2) предела текучести R_e при повышенной температуре в зависимости от температуры T деформации и скорости phip деформации позволяет в изобретении достигать даже при самых маленьких степенях деформации φ правильных результатов. Начальная величина - это соответствующий предел текучести R_e при повышенной температуре прокатываемого материала в зависимости от температуры T деформации и скорости phip деформации.

Перечень основных обозначений

A_i - термодинамические коэффициенты

a_i b_i c - коэффициенты

B - ширина прокатываемого материала

C_G - модуль прокатной клети

C_M - модуль материала

dh_1 - изменение выходной толщины

ds_{AGC} - изменение установки очага деформации

F_m - измеренное прокатное усилие

F_W - номинальное прокатное усилие

h_0 - толщина перед пропуском через валки

h_1 - толщина после пропуска через валки

k_f - предел текучести

k_{f0} - исходная величина предела текучести

$k_{f,R}$ - предел текучести, с учетом предела текучести при пластической деформации при повышенной температуре

m_i - термодинамические коэффициенты

φ - степень деформации

φ_G - граничная величина степени деформации

phip - скорость деформации

Q_p - функция для учета геометрии очага деформации и соотношений сил трения

R_e - предел текучести при повышенной температуре

R_W - радиус валков

s - установка очага деформации

s_{soll} - номинальная установка очага деформации

T - температура деформации

Формула изобретения

1. Способ повышения стабильности процесса, в частности, абсолютной точности по толщине и надежности агрегата при горячей прокатке стали или материалов из цветного металла, при небольших степенях деформации (φ) или небольших обжатиях, в котором осуществляют вычисление номинального прокатного усилия (Fw) и регулировку усилия прокатки с учетом вычисленного номинального прокатного усилия, при этом при вычислении номинального прокатного усилия (Fw) определяют предел текучести (R_e) при повышенной температуре в зависимости от температуры (T) деформации и скорости (phip) деформации, предел текучести (Re) при повышенной температуре встраивают в функцию предела текучести ($k_{f,R}$) для определения номинального прокатного усилия (Fw), при этом мультипликативное выражение

кривых для предела текучести с учетом предела текучести (R_e) при повышенной температуре в зависимости от температуры (T) деформации и скорости (phip) деформации выбирают согласно формуле:

$$k_{f;R} = R_e + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m2} \cdot A_3 \cdot phip^{m3}, \quad (1)$$

и предел текучести ($k_{f,R}$) используют в уравнении прокатного усилия для вычисления номинального прокатного усилия (Fw) при регулировке толщины, а также для расчетных моделей и методов регулировки, согласно следующему виду:

$$F_W = Q_P \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_W \cdot (ho - h1))^{1/2}, \quad (2)$$

где R_e = предел текучести при повышенной температуре,

T = температура деформации,

K_{f0} - исходная величина предела текучести,

A_1, A_2, A_3, m1, m2, m3 - термодинамические коэффициенты,

phip = скорость деформации,

F_W = номинальное прокатное усилие,

Q_P=функция для учета геометрии очага деформации и соотношений сил трения,

$k_{f;R}$=предел текучести, учитывая предел текучести при повышенной температуре,

B = ширина прокатываемого материала,

R_W=радиус валков,

h_0 = толщина перед пропуском через валки,

h_1 = толщина после пропуска через валки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что предел текучести (R_e) при повышенной температуре в зависимости от температуры (T) деформации и скорости (phip) деформации определяют в виде произведения экспоненциальной функции температуры и функции скорости деформации из результатов измерения при прокатке с меньшими степенями деформации, чем специфичная для материала предельная степень деформации.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что на основе номинального прокатного усилия (F_W) рассчитывают модуль материала (C_M) с учетом предела текучести (R_e) при повышенной температуре в зависимости от температуры (T) деформации и скорости (phip) деформации для меньших степеней деформации, чем специфичная для материала граничная степень деформации (φ_G), согласно формуле

$$C_M = (F_W - F_m)/dh_1, \quad (5)$$

где C_M = модуль материала,

F_W = номинальное прокатное усилие,

F_m = измеренное прокатное усилие,

dh_1 = изменение выходной толщины.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что используют калибровочное уравнение в формуле

$$ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G)dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_m)/(C_G + s - s_{soll}), \quad (6)$$

где ds_{AGC} = изменение установки очага деформации,

C_M = модуль материала,

C_G = модуль прокатной клети,

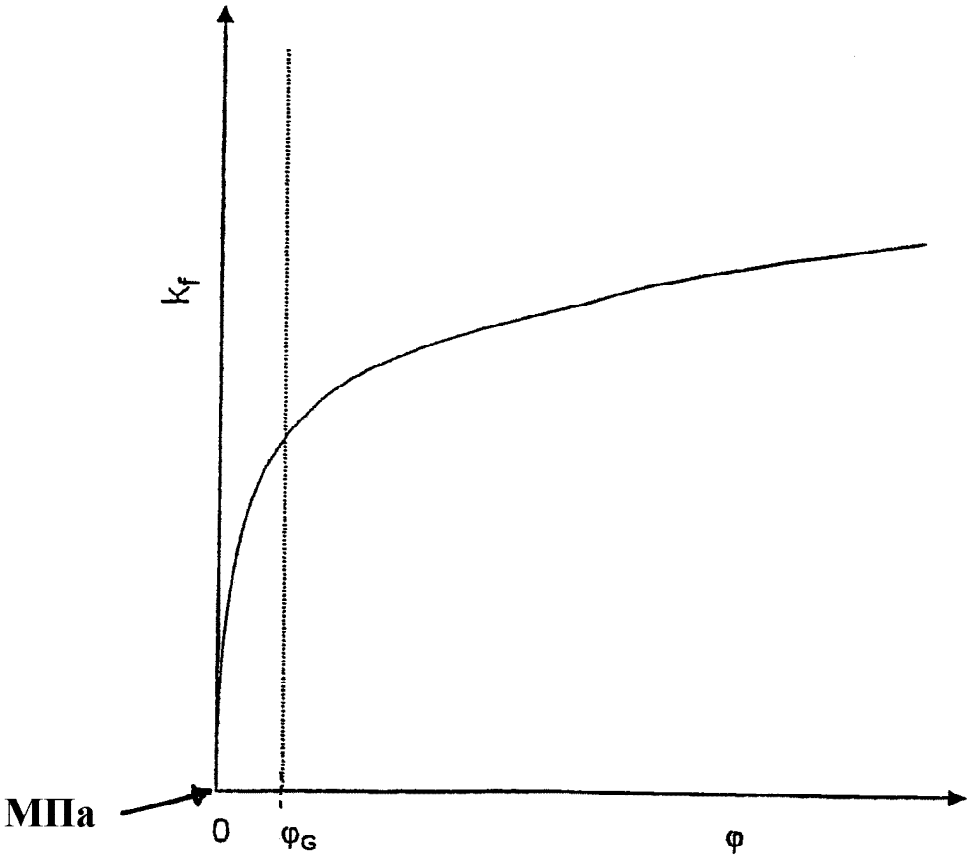
dh_1 = изменение выходной толщины,

F_W = номинальное прокатное усилие,

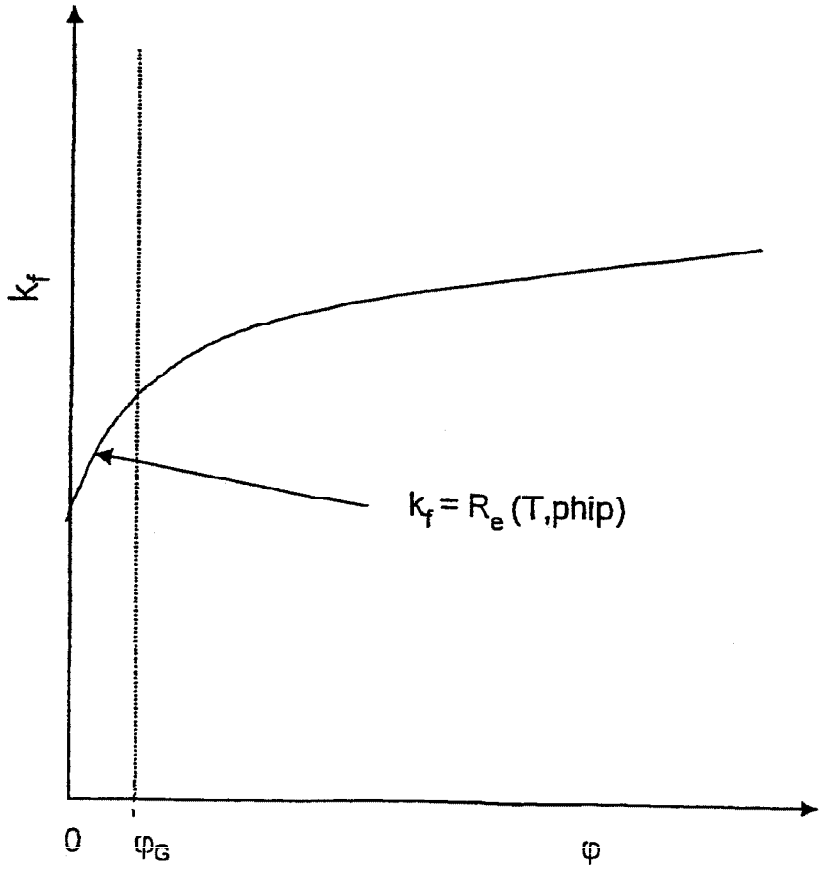
F_m = измеренное прокатное усилие,

s = установка очага деформации,

s_{soll} = номинальная установка очага деформации.



ФИГ. 1



ФИГ. 2