

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2595821

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
НОРМАЛИЗОВАННОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ
Cockcroft-Latham**

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" ФГАОУ ВО "СПбПУ" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015123443

Приоритет изобретения 15 июня 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 04 августа 2016 г.

Срок действия патента истекает 15 июня 2035 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015123443/28, 15.06.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.06.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.06.2015

(45) Опубликовано: 27.08.2016 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: МАТВЕЕВ Михаил Александрович, **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПРИКРОМОЧНЫХ ТРЕЩИН В ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЛИСТАХ ИЗ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ, АВТОРЕФЕРАТ** диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Санкт-Петербург –? 2014, стр. 6, 8-12. Харитонов В.А., Столяров А.Ю. Экспериментальное определение критерия разрушения при (см. прод.)

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая,
29, ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого"
ФГАОУ ВО "СПбПУ", отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

Мишин Василий Викторович (RU),
Матвеев Михаил Алексеевич (RU),
Колбасников Николай Георгиевич (RU),
Шишов Иван Александрович (RU),
Глухов Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

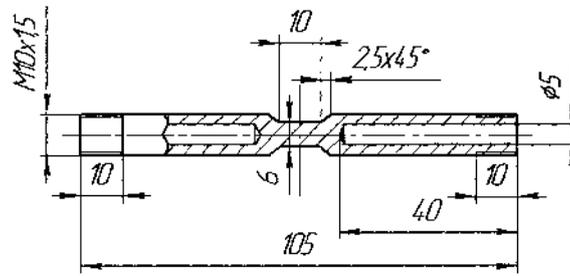
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра
Великого" ФГАОУ ВО "СПбПУ" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НОРМАЛИЗОВАННОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ Cockcroft-Latham

(57) Реферат:

Изобретение относится к области определения прочностных свойств металлов и их сплавов путем приложения растягивающих нагрузок к образцам и может быть использовано в металлургии и машиностроении. Сущность: проводят температурно-деформационную обработку металла и осуществляют испытания на растяжение до разрушения. Производят определение сужения в шейке образца, вычисление предельных деформаций, воспроизведение испытаний на растяжение методом численного

моделирования в программной среде, сопоставление результатов численного моделирования с результатами «реальных» испытаний на растяжение и определение предельного значения критерия разрушения производится при достижении предельной деформации. Технический результат: повышение достоверности определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham для любых процессов обработки металлов давлением. 2 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

волочении высокоуглеродистой катанки, Сб. науч. трудов: "Инновационные технологии в металлургии и машиностроении"; 26-30 ноября 2013 г. - Екатеринбург. - 2013. - С. 113-118; ФГБОУ ВПО "УГАТУ", БОТКИН АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ, НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ, Диссертация на соискание ученой степени. доктора технических наук, Уфа -; 2013. Kenji Takada, Kentaro Sato, Ninshu Ma Fracture prediction of high strength steels with ductile fracture criterion and strain dependent model of anisotropy, 12th International LS-DYNA Users Conference: 3-5 June 2012. - Detroit. - USA. - 2012.

R U 2 5 9 5 8 2 1 C 1

R U 2 5 9 5 8 2 1 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015123443/28, 15.06.2015

(24) Effective date for property rights:
15.06.2015

Priority:

(22) Date of filing: 15.06.2015

(45) Date of publication: 27.08.2016 Bull. № 24

Mail address:

195251, Sankt-Peterburg, ul. Politehnicheskaja, 29,
FGAOU VO "Sankt-Peterburgskij politehnicheskij
universitet Petra Velikogo" FGAOU VO "SPbPU",
otdel intellektualnoj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Mishin Vasilij Viktorovich (RU),
Matveev Mikhail Alekseevich (RU),
Kolbasnikov Nikolaj Georgievich (RU),
SHishov Ivan Aleksandrovich (RU),
Glukhov Pavel Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij
politehnicheskij universitet Petra Velikogo"
FGAOU VO "SPbPU" (RU)

(54) **METHOD FOR DETERMINING LIMIT VALUES OF NORMALIZED DESTRUCTION CRITERION
Cockcroft-Latham**

(57) Abstract:

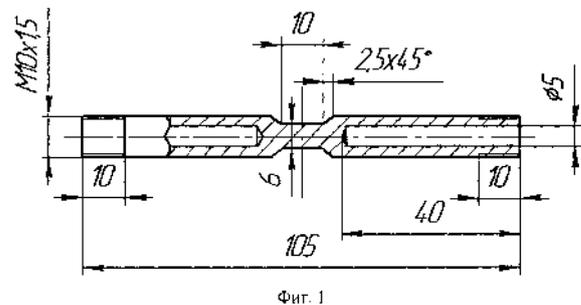
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to determination of strength properties of metals and alloys thereof by applying tensile loads to samples, and can be applied in metallurgy and machine building. Subject: temperature and deformation processing of metal is performed and tensile test to destruction is conducted. Narrowing of sample neck is determined, limit deformations are calculated, tensile test is reproduced by numerical simulation in program medium, results of numerical simulation are compared with results of "real" tensile test, and destruction criterion limit value is determined when maximum deformation is achieved.

EFFECT: technical result is higher reliability of

determining limit values of normalized destruction criterion Cockcroft-Latham for any processes of metal forming by pressure.

1 cl, 2 dwg



Изобретение относится к области определения прочностных свойств металлов и их сплавов путем приложения растягивающих нагрузок к образцам и может быть использовано в металлургии и машиностроении.

Известен способ определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham [Kenji Takada, Kentaro Sato, Ninshu Ma Fracture prediction of high strength steels with ductile fracture criterion and strain dependent model of anisotropy // 12th International LS-DYNA Users Conference: 3-5 June 2012. - Detroit. - USA. - 2012]. Способ включает проведение «реальных» испытаний на растяжение до разрушения при заданной температуре и скорости деформации, воспроизведение испытаний на растяжение методом численного моделирования в программной среде и определение предельных значений по кривым «напряжение-деформация», добиваясь полного совпадения реальной и виртуальной кривой. Способ не позволяет определить предельные значения нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham с учетом температурно-деформационной истории обработки металла. Определение предельных значений по кривой «напряжение-деформация» при проведении «реального» теста на растяжение является не достаточно корректным и обоснованным.

Наиболее близким, выбранным за прототип, является способ определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham [Харитонов В.А., Столяров А.Ю. Экспериментальное определение критерия разрушения при волочении высокоуглеродистой катанки // Сб. науч. трудов: «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении»: 26-30 ноября 2013 г. - Екатеринбург. - 2013. - С. 113-118]. Способ включает следующие операции:

- испытания на растяжение до разрушения образца при температуре 25°C по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 1497-84,
- воспроизведение испытаний на растяжение методом численного моделирования в программной среде,
- сопоставление результатов численного моделирования с результатами «реальных» испытаний на растяжение,
- определение предельного значения нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham по изменению угла наклона кривой «напряжение-деформация».

Недостатками способа являются: не учитывается температурно-деформационная история обработки металла; несоответствие скоростей деформации при «реальных» экспериментах на растяжение процессу волочения; определение предельных значений по кривой «напряжение-деформация» является не достаточно корректным и обоснованным, что в совокупности не дает достоверной картины разрушения металла.

Задачей является повышение достоверности определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham, что позволит повысить выход годного металла.

Для решения поставленной задачи предложен способ определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham, включающий следующие операции:

- воспроизведение на специальных образцах всего цикла предшествующей температурно-деформационной обработки металла, в соответствии с рассматриваемой технологией обработки металлов давлением, например прокатка, ковка, штамповка, волочение и др.;
- испытание на растяжение до разрушения образца, например, при температурах от 20 до 1400°C и скорости деформации от 0 до 200 с⁻¹;

- определение сужения в шейке образца в относительных единицах по формуле

$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0}, \text{ где } F_0 \text{ и } F_k - \text{ начальная и конечная площадь поперечного сечения образца;}$$

5 - вычисление предельных деформаций по формуле $\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}} = -\ln(1 - \Psi)$;

- воспроизведение испытаний на растяжение методом численного моделирования в программной среде;

10 - сопоставление результатов численного моделирования с результатами «реальных» испытаний на растяжение;

- определение предельного значения критерия разрушения производится при достижении предельной деформации $\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}}$.

15 Предварительная температурно-деформационная обработка металла позволяет сформировать в образце структуру металла, которая соответствует моменту предполагаемого разрушения при анализе конкретной технологии. А предельные значения критерия разрушения характеризуются именно структурным состоянием металла. Таким образом, совокупность отличительных признаков является необходимой и достаточной для решения поставленной задачи.

20 Согласно нормализованному критерию разрушения Cockcroft-Latham, разрушение металла наступает в тот момент, когда расчетные значения $C_{\text{К-Л}}$ больше или равны предельным значениям $C_{\text{К-Л}}^{\text{пред}}$.

25 Значения $C_{\text{К-Л}}^{\text{пред}}$ являются структурно чувствительными величинами и, как и структура, зависят от температуры, степени и скорости деформации, накопленной деформации.

Нормализованный критерий разрушения Cockcroft-Latham основан на оценке полной работы деформации на единицу объема в точке разрушения:

$$30 \quad C_{\text{К-Л}} = \int_0^{\varepsilon_i} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon, \quad (1)$$

где ε_i - накопленная интенсивность деформации в момент разрушения; σ_1 - главное растягивающее напряжение; σ_i - интенсивность напряжений по Мизесу.

При выполнении условия:

$$35 \quad C_{\text{К-Л}} = \int_0^{\varepsilon_i} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon \geq C_{\text{К-Л}}^{\text{пред}} \quad (2)$$

должно происходить разрушение металла.

40 На заключительной стадии численного моделирования рассматривается растяжение образца до разрушения. Значения критерия $C_{\text{К-Л}}^{\text{пред}}$ перед имитацией деформации в каждой

последующей клетки стана определяются для момента достижения предельных истинных деформаций в месте разрыва, рассчитанных по экспериментальным данным, как

$\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}} = -\ln(1 - \Psi)$, где Ψ - сужение в шейке. Таким образом, определение предельных

45 значений критерия, зависящих от температуры, скорости, степени деформации и накопленной деформации, производится в момент, соответствующий появлению трещин на виртуальном образце при заданной предельной деформации:

$$C_{K-L} = C_{K-L}^{\text{пред}} = \int_0^{\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}}} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon \quad (3)$$

5 Предлагаемым способом были определены предельные значения нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham в процессе горячей прокатки листового проката на непрерывном стане 2000 и реверсивном стане 5000. Для этого были выполнены следующие операции.

10 Выбрали образец для моделирования многопроходной деформации с последующим определением пластичности и предельных деформаций (фиг. 1). Воспроизводили многопроходную прокатку на станах 2000 и 5000 с заданными температурно-деформационными режимами. Для воспроизведения многопроходной прокатки на станах использовали метод «растяжение-сжатие». Проводили «реальные» испытания на растяжение до разрушения образца с определением пластичности стали и предельных 15 деформаций в каждой из клеток стана 2000 или проходе стана 5000, непосредственно после воспроизведения всех стадий прокатки. При этом задавали температуру и скорость деформации во время растяжения, равную скорости деформации в данной клетки, например, температуры испытания для различных технологий обработки металлов давлением могут варьироваться от 20 до 1400°C, а скорости деформации от 0 до 200 20 с⁻¹. Например, при определении пластичности металла в 8-й клетки стана 2000 образцы проходили следующую обработку:

- нагрев до 1200°C и выдержка в течение 60 с для полной аустенизации;
- имитация прокатки в 5 клетях черновой группы стана с заданными термомеханическими параметрами прокатки и временами пауз между проходами;
- 25 - выдержка и охлаждение на промежуточном рольганге;
- имитация прокатки в 6 и 7 клетях чистовой группы стана с заданными термомеханическими параметрами прокатки и временем паузы между проходами;
- деформация растяжением до разрушения в 8-й клетки стана 2000 с определением максимальной истинной деформации до разрушения и сужения образца в шейке после 30 охлаждения.

Пластичность оценивали при помощи измерения относительного сужения образца в шейке в относительных единицах по формуле $\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0}$, где F_0 и F_k - начальная и 35 конечная площадь поперечного сечения образца. Начальная площадь поперечного сечения образца $F_0=6$ мм, после испытания на растяжение до разрушения в 8-й клетки стана 2000 конечная площадь поперечного сечения образца $F_k=0,56$ мм, отсюда относительное сужение образца в шейке в относительных единицах $\Psi = \frac{6-0,56}{6} = 0,91$. 40

Предельную деформацию вычисляли по формуле $\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}} = -\ln(1 - \Psi)$. После испытания образца на растяжение до разрушения перед 8-й клетью стана 2000 предельная деформация $\varepsilon_{\text{пред}}^{\text{эксп}} = -\ln(1 - 0,91) = 2,41$.

45 Для определения $C_{K-L}^{\text{пред}}$ на термомеханическом комплексе имитировали горячую прокатку на станах, а в программной среде численно моделировали обработку образцов как на термомеханическом комплексе. Виртуальные образцы по размерам

соответствовали фиг. 1.

На фиг. 2 представлены: конечно-элементная модель образца для математического моделирования обработки образцов на термомеханическом комплексе (а); финальная стадия разрушения образца при моделировании в программной среде (б) и на термомеханическом комплексе (в) в 8-й клетки стана 2000 при температуре $T=870^{\circ}\text{C}$; финальная стадия хрупкого разрушения образца при физическом и математическом моделировании (г, д). Полученные предельные значения нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham используются для оценки возможности разрушения сталей в процессе горячей прокатки. Для этого проводится численное моделирование процесса горячей прокатки на виртуальных станах 2000 и 5000 в программной среде и с расчетом нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham. Затем расчетные значения $S_{\text{К-Л}}$ сравниваются с предельными значениями $S_{\text{К-Л}}^{\text{пред}}$ и делается заключение о возможности разрушения исследуемого металла в соответствии с соотношением (2).

Расчетное значение $S_{\text{К-Л}}$ в 8-й клетки стана 2000 при моделировании прокатки в программной среде составило 0,86, а предельное значение $S_{\text{К-Л}}^{\text{пред}} = 2,78$, отсюда следует, что $S_{\text{К-Л}} < S_{\text{К-Л}}^{\text{пред}}$, значит при горячей прокатке в 8-й клетки стана 2000 разрушение металла происходить не должно.

Таким образом, предлагаемый способ значительно облегчает и повышает достоверность определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham для любых процессов обработки металлов давлением, например прокатке, ковке, штамповке, волочении и др., что позволяет разрабатывать неразрушающие режимы пластической обработки металлов и сплавов и приводит к повышению выхода годного металла.

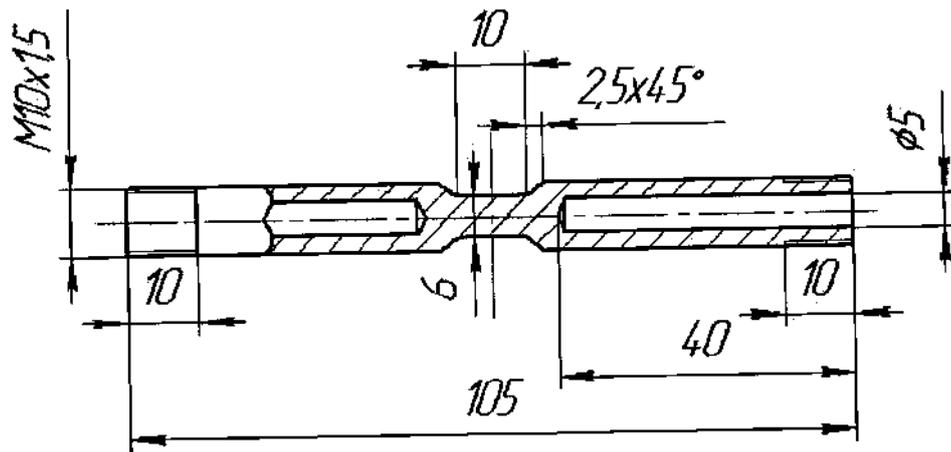
Формула изобретения

Способ определения предельных значений нормализованного критерия разрушения Cockcroft-Latham, включающий испытания на растяжение до разрушения, воспроизведение испытаний на растяжение методом численного моделирования в программной среде, сопоставление результатов численного моделирования с результатами «реальных» испытаний на растяжение, отличающийся тем, что перед испытанием на растяжение проводят температурно-деформационную обработку металла, определяют относительное сужение в шейке образца, вычисляют предельную деформацию, после чего определяют предельное значение критерия разрушения при достижении предельной деформации.

40

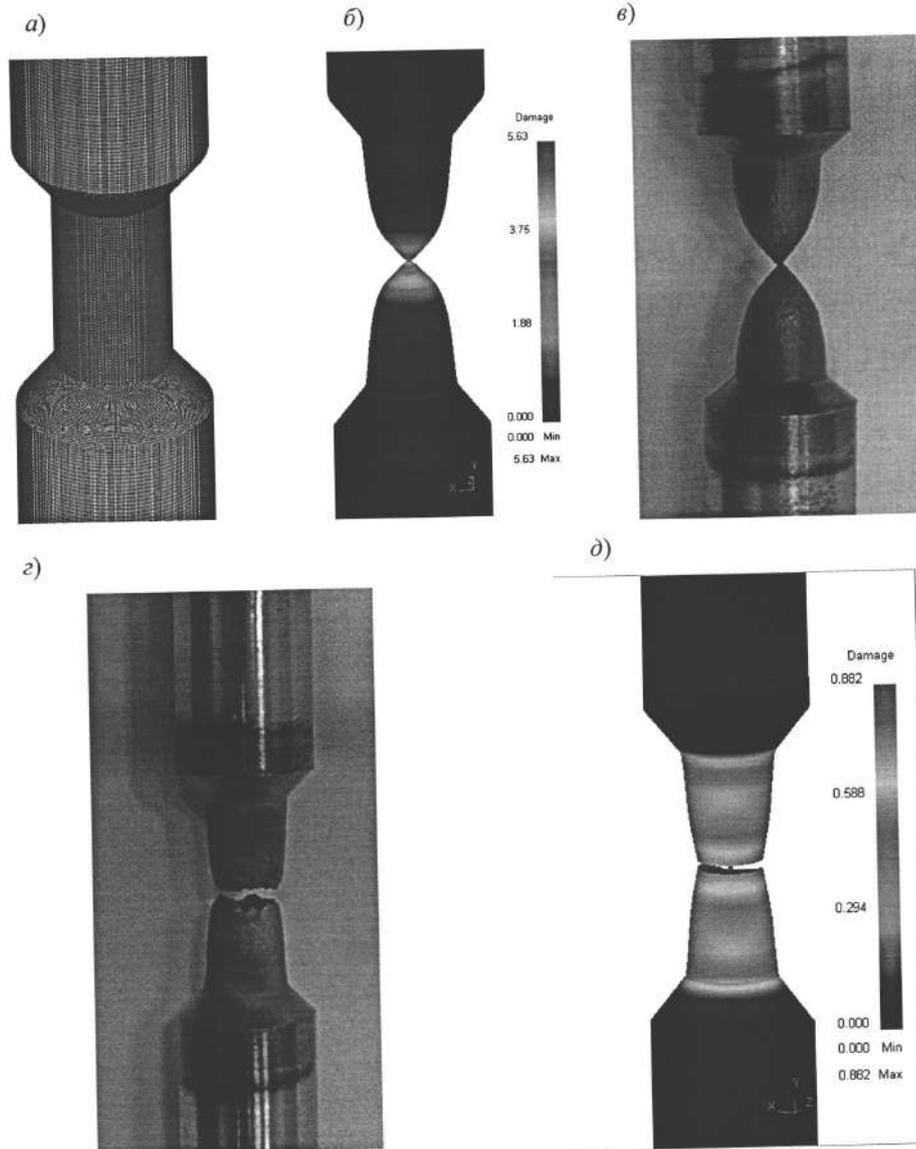
45

Способ определения предельных значений
нормализованного критерия разрушения
Cockcroft-Latham



Фиг. 1

Способ определения предельных значений
нормализованного критерия разрушения
Cockcroft-Latham



Фиг. 2