



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 3/32 (2020.01); G01N 3/40 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2019128342, 09.09.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.09.2019

Дата регистрации:  
15.05.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
25.03.2019 BY а 20190083

(45) Опубликовано: 15.05.2020 Бюл. № 14

Адрес для переписки:  
246746, Респ. Беларусь, г. Гомель, пр. Октября,  
48, Учреждение образования "Гомельский  
государственный технический университет  
имени П.О. Сухого", Научно-исследовательская  
часть

(72) Автор(ы):

Степанкин Игорь Николаевич (BY),  
Халецкий Андрей Васильевич (BY),  
Ткачев Виктор Михайлович (BY),  
Гутман Роман Евгеньевич (BY)

(73) Патентообладатель(и):

Учреждение образования "Гомельский  
государственный технический университет  
имени П.О. Сухого" (BY)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2599069 C1, 10.10.2016. RU  
2451282 C1, 20.05.2012. RU 2416086 C1,  
10.04.2011. WO 1997039333 A2, 23.10.1997.

(54) Способ определения прочности материала

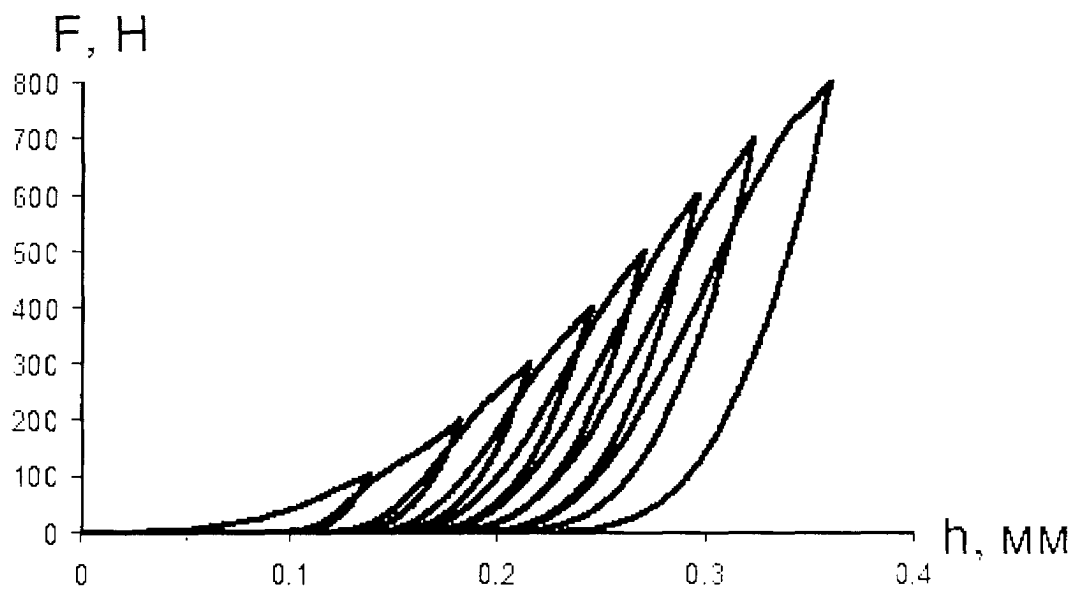
(57) Реферат:

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям материалов, в частности горных пород, может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях и обеспечивает определение предела прочности материала при сжатии без разрушения образца. Сущность: осуществляют вдавливание индентора переменного сечения непрерывно возрастающей нагрузкой до максимального значения произвольной величины, после достижения которого, прекращают вдавливание и производят разгрузку образца до нулевого значения. При этом регистрируют значение величины нагрузки и соответствующую ей глубину перемещения индентора, рассчитывают давление на контактной поверхности между индентором и образцом в период возрастания нагрузки. Вдавливание и разгрузку индентора производят, не изменяя его положения циклично, обеспечивая в каждом последующем цикле

дискретное увеличение максимального значения нагрузки, при которой начинается разгрузка. В период разгрузки образца определяют давление на контактной поверхности путем отношения значения нагрузки на индентор к максимальной площади контактной поверхности в каждом цикле. В каждом цикле также для одной и той же глубины перемещения индентора рассчитывают разность между давлением на контактной поверхности в период увеличения нагрузки и давлением в период разгрузки, и определяют максимальное значение разности указанных давлений. Испытания продолжают до формирования горизонтального участка на графике зависимости между максимальными значениями разности давлений и соответствующими значениями нагрузки. Величина разности давлений, соответствующая горизонтальному участку, принимается за предел прочности материала при сжимающих нагрузках.

Технический результат: возможность определения  
предела прочности материала при сжатии без

разрушения образца. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1

RU 2721089 C1

RU 2721089 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01N 3/32 (2020.01); G01N 3/40 (2020.01)*

(21)(22) Application: **2019128342, 09.09.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**09.09.2019**

Registration date:  
**15.05.2020**

Priority:

(30) Convention priority:  
**25.03.2019 BY a 20190083**

(45) Date of publication: **15.05.2020 Bull. № 14**

Mail address:

**246746, Resp. Belarus, g. Gomel, pr. Oktyabrya,  
48, Uchrezhdenie obrazovaniya "Gomelskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
P.O. Sukhogo", Nauchno-issledovatelskaya chast**

(72) Inventor(s):

**Stepankin Igor Nikolaevich (BY),  
Khaletskij Andrej Vasilevich (BY),  
Tkachev Viktor Mikhajlovich (BY),  
Gutman Roman Evgenevich (BY)**

(73) Proprietor(s):

**Uchrezhdenie obrazovaniya "Gomelskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
P.O. Sukhogo" (BY)**

(54) **METHOD OF DETERMINING STRENGTH OF MATERIAL**

(57) Abstract:

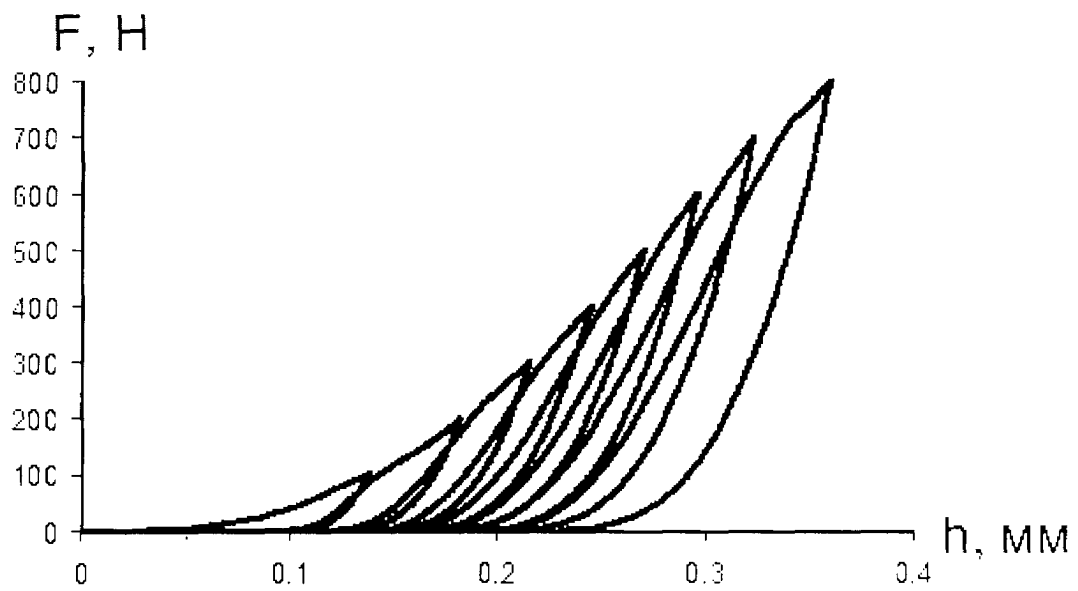
FIELD: soil or rock drilling; mining.

SUBSTANCE: invention relates to physical and mechanical testing of materials, particularly rocks, can be used in engineering-geological survey and provides determination of ultimate strength of material at compression without destruction of sample. Essence: indenter of variable cross-section is continuously pressed with continuously increasing load to maximum value of arbitrary value, after which the impression is stopped and sample is unloaded to zero value. Magnitude of the load and the corresponding displacement depth of the indenter are recorded, and the pressure on the contact surface between the indenter and the sample is calculated in the period of increasing load. Indenting and unloading of the indenter is performed without changing its position in a cyclic manner, providing in each subsequent cycle a discrete increase in the maximum load value at which unloading begins. During sample unloading, pressure is

determined on contact surface by ratio of load on indenter to maximum area of contact surface in each cycle. In each cycle, also for the same depth of the indenter displacement, the difference between the pressure on the contact surface during the load increase and the pressure during the unloading period is calculated, and the maximum value of the difference of the said pressures is determined. Tests are continued until formation of horizontal section on graph of relationship between maximum values of pressure difference and corresponding load values. Value of pressure difference corresponding to horizontal section is taken as ultimate strength of material at compression loads.

EFFECT: technical result is possibility of determining ultimate strength of material during compression without destroying sample.

1 cl, 4 dwg



Фиг.1

RU 2721089 C1

RU 2721089 C1

Изобретение относится к физико-механическим испытаниям материалов, в частности горных пород, путем вдавливания индентора в поверхность образца и может быть использовано при инженерно-геологических изысканиях.

Известен способ определения прочности горных пород при объемном сжатии для осуществления которого цилиндрический образец устанавливается в рабочую камеру 5 объемного сжатия, в которой боковые поверхности образца нагружаются гидравлическим давлением постоянной величины со стороны рабочей жидкости, а торцовые поверхности, непрерывно возрастающей нагрузкой до разрушения образца с регистрацией величины нагрузки в момент разрушения материала образца, и 10 последующим вычислением предела прочности материала горной породы путем деления величины разрушающей нагрузки на площадь поперечного сечения образца. [API RP 40, Recommended practice for core - analysis procedure, 2<sup>nd</sup>ed.: Chapter 7.7. American Petroleum Institute, 1998. Washington, D.C. - 236 p.].

Недостатком данного способа является однократное использование образца, не 15 позволяющее проводить повторные исследования материала образца с целью повышения точности результата испытания.

Наиболее близким, по технической сущности к заявляемому является способ определения прочностных характеристик материалов, включающий вдавливание в материал индентора переменного сечения с нарастающей нагрузкой и последующей 20 разгрузкой, регистрацией зависимости нагрузки от перемещения индентора, в результате которого по положению касательной к ветви разгрузки, проведенной через верхнюю точку графической зависимости, определяется статический модуль Юнга  $E^*$  испытываемого материала, а отношение приложенной к индентору нагрузки  $F$  к площади контактной поверхности  $S$  между индентором и испытываемым материалом, определенное при 25 вдавливании индентора, принимается за величину твердости  $H_{IT}$  испытываемого материала. Недостатком данного способа является необходимость определения на графике разгрузки точки, определяющей две доли общей глубины отпечатка индентора, отражающих глубину внедрения на протяжении которой осуществляется контакт между индентором и материалом и глубину на протяжении которой контакт индентора с 30 материалом отсутствует в результате образовавшегося в материале углубления вокруг индентора. Соотношение между указанными глубинами находится в линейной зависимости от соотношения между твердостью  $H_{IT}$  и модулем упругости  $E^*$ , из указанной зависимости невозможно определить количественное значение предела 35 прочности материала. [Фирстов, С.А. Новые методологические возможности определения механических свойств современных материалов методом автоматического индентирования / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Э.П. Печковский // Наука та інновації. 2010. Т. 6. №5. С. 7-18.]

Задача заявляемого способа заключается в определении предела прочности материала 40 при сжатии без разрушения образца.

Технический результат достигается тем, что в способе определения прочностных характеристик материала, включающем вдавливание индентора переменного сечения непрерывно возрастающей нагрузкой до максимального значения произвольной 45 величины после достижения которого, прекращают вдавливание и производят разгрузку образца до нулевого значения, при этом регистрируют значение величины нагрузки и соответствующую ей глубину перемещения индентора, рассчитывают давление на контактной поверхности между индентором и образцом в период возрастания нагрузки, согласно изобретению, производят вдавливание и разгрузку индентора, не изменяя его

положения, циклично, обеспечивая в каждом последующем цикле дискретное увеличение максимального значения нагрузки при которой начинается разгрузка, при этом в период разгрузки образца определяют давление на контактной поверхности путем отношения значения нагрузки на индентор к максимальной площади контактной поверхности в каждом цикле, и также в каждом цикле для одной и той же глубины перемещения индентора рассчитывают разность между давлениам на контактной поверхности в период увеличения нагрузки и давлением в период разгрузки, и определяют максимальное значение разности указанных давлений на основании установленной зависимости между максимальными значениями разности давлений, соответствующим значениям максимальных нагрузок в циклах, определяют предел прочности испытуемого образца. При расчете давления на контактной поверхности между индентором и образцом, с целью упрощения расчетов, при применении инденторов пирамидальной или конической формы, за величину площади контактной поверхности принимают проекцию площади контактной поверхности индентора с соответствующим поправочным коэффициентом. Испытания продолжают до тех пор, пока на графике зависимости между максимальными значениями разности давлений и соответствующими значениями нагрузки не сформируется горизонтальный участок с постоянными значениями разности давлений, величина которых является пределом прочности материала при сжимающих нагрузках.

Сущность изобретения поясняется чертежами. Фиг. 1 - График отражающий изменение нагрузки, приложенной к индентору и соответствующего изменения глубины перемещения индентора  $h$  при многократном повторении увеличения нагрузки и разгрузки образца. Фиг. 2 - График отражающий изменение нагрузки, приложенной к индентору и соответствующего изменения глубины перемещения индентора, в случае однократного вдавливания индентора. Фиг. 3 - Графики отражающие изменение давления на контактной поверхности между индентором и материалом в момент увеличения нагрузки и давления в момент разгрузки индентора, а также изменение разности между указанными давлениями на контактной поверхности в зависимости от перемещения индентора. Фиг. 4 - Графики отражающие зависимости отражающие зависимость разности давлений в каждом цикле от максимальных значений нагрузок в соответствующих им циклах испытаний.

Способ осуществляют следующим образом.

Плоскопараллельный образец устанавливают на стол нагружающего стенда и вдавливают индентор непрерывно возрастающей нагрузкой  $F$  до максимального значения  $F_{\max 1}$  произвольной величины, после достижения которого, прекращают вдавливание и производят разгрузку образца до нулевого значения нагрузки  $F$ . Не изменяя положения индентора, повторяют его вдавливание непрерывно возрастающей нагрузкой до максимальной величины  $F_{\max 2}$ , превышающей первоначальное значение  $F_{\max 1}$  и затем аналогично производят разгрузку. Описанное циклическое вдавливание индентора продолжают повторять  $i$ -раз обеспечивая в каждом цикле непрерывное возрастание нагрузки  $F$  и разгрузку образца, повышая в каждом следующем цикле максимальное значение нагрузки  $F_{\max i}$ , после которого начинается разгрузка индентора с уменьшением величины нагрузки  $F$  до нулевого значения (Фиг. 1). Регистрируют зависимость величины нагрузки  $F$  от перемещения  $h$  индентора при каждом цикле увеличения нагрузки до максимального значения  $F_{\max i}$  и разгрузки. Для полученной в каждом цикле вдавливания индентора зависимости величины нагрузки  $F$  от перемещения  $h$  индентора рассчитывают давление на контактной поверхности между

индентором и материалом образца для каждого текущего значения перемещения  $h_i$  индентора (Фиг. 2). При этом в момент увеличения нагрузки ее величину  $F_i$  делят на площадь контактной поверхности  $S_i$ , которая увеличивается сообразно увеличению перемещения  $h_i$  индентора и рассчитывают давление  $P_i = F_i / S_i$  на контактной поверхности между индентором и материалом образца в момент увеличения нагрузки. Площадь контактной поверхности рассчитывают исходя из геометрической формы индентора и величины его перемещения  $h_i$  или принимают ее равной площади проекции поверхности индентора с поправочным коэффициентом. В период разгрузки индентора текущее значение нагрузки  $F_i'$  делят на площадь контактной поверхности  $S_{\max_i}$ , соответствующую положению индентора  $h_{\max_i}$  в момент начала разгрузки и принимают постоянной, т.к. в момент разгрузки образца материал образца совершает только упругое восстановление, которое не изменяет сформировавшейся на этапе увеличения нагрузки максимальной площади контактной поверхности между индентором и образцом. При этом величина нагрузки  $F_i'$  уменьшается до нулевого значения сообразно перемещению индентора. Таким образом рассчитывают давление  $P_i'$  на контактной поверхности между индентором и образцом в период разгрузки. Для одной и той же величины перемещения  $h_i$  индентора рассчитывают разницу  $\Delta P_i = P_i - P_i'$  между давлением на контактной поверхности в момент увеличения нагрузки -  $P_i$  и давлением в момент разгрузки  $P_i'$ , и на полученной зависимости  $\Delta P_i$  от  $h_i$  определяют максимальное значение разницы  $\Delta P_{\max_i}$  для каждого  $i$ -го цикла увеличения нагрузки и разгрузки индентора.

По результатам эксперимента строят зависимость  $\Delta P_{\max_i}$  от  $F_{\max_i}$  и на основании полученной зависимости определяют предел прочности испытуемого материала на сжатие, считая данной величиной значение  $\Delta P_{\max_i}$  соответствующее горизонтальному участку указанной зависимости.

Пример осуществления способа. Исследовали материал керна горной породы, извлеченной из скважины №208 Речицкого месторождения Республики Беларусь. Испытания проводят на цилиндрических образцах диаметром 30 мм и высотой 60 мм что соответствует ГОСТ 21153.3-85. Образец устанавливают на испытательный стол станда «INSTRON». В качестве индентора используют алмазную пирамиду Виккерса, которую с помощью специальной оправки закрепляют на траверсе станда «INSTRON». Затем вдавливают индентор в поверхность образца с непрерывным увеличением нагрузки до максимального значения  $F_{\max_i} = 100\text{Н}$ , после чего вдавливание прекращают и осуществляют разгрузку индентора до нулевого значения. Регистрируют изменение нагрузки  $F_i$  в зависимости от перемещения  $h_i$  индентора.

Повторное и следующие за ним вдавливания индентора проводят, не изменяя взаимного расположения образца и индентора, увеличивая максимальную нагрузку  $F_{\max_i}$  на 100Н при которой прекращают процесс вдавливания и начинают разгрузку в каждом последующем цикле вдавливания индентора. Величина максимальной нагрузки в рассматриваемом примере возрастала в следующей последовательности 100Н, 200Н, 300Н, 400Н, 500Н, 600Н, 700Н, 800Н. Регистрируют изменение нагрузки  $F_i$  в зависимости от координаты  $h_i$  индентора при его перемещении в процессе всех циклов вдавливания индентора. Получают зависимость нагрузки  $F$  от перемещения  $h$  индентора, которую представляют в графическом виде (Фиг. 1).

Для каждого цикла вдавливания проводят расчет величины давления  $P$  на контактной поверхности между индентором и материалом образца путем деления нагрузки  $F$ , приложенной к индентору на площадь  $S$  контакта между индентором и поверхностью исследуемого материала. Величину давления  $P_i$  на контактной поверхности в момент непрерывного увеличения нагрузки  $F_i$  рассчитывают с учетом непрерывного увеличения площади  $S_i$  контактной поверхности, которую рассчитывают исходя из глубины внедрения  $h_i$  индентора, а также исходя из его геометрической формы представляющей собой четырехгранную пирамиду с углом при вершине  $136^\circ$ . Для алмазного индентора Виккерса площадь контактной поверхности между индентором и испытуемым материалом рассчитывают по формуле  $S_i=4h_i^2 \sin 68^\circ / \cos^2 68^\circ$  или  $S_i=26,428 h_i^2$ . В качестве величины нагрузки  $F_i$  и перемещения индентора  $h_i$  используют экспериментальные данные, полученные в результате телеметрии процесса вдавливания. Величину давления  $P_i'$  на контактной поверхности в момент разгрузки рассчитывают путем деления текущей величины нагрузки  $F_i'$ , регистрируемой с помощью телеметрии, на площадь контактной поверхности  $S_{\max_i}$  соответствующую перемещению  $h_{\max_i}$  индентора, в каждом цикле испытания. В расчете величины давления  $P_i'$  на контактной поверхности в момент разгрузки используют постоянную величину площади контактной поверхности  $S_{\max_i}$ , полученную при перемещении индентора до величины  $h_{\max_i}$ . Для каждого цикла углубления индентора строят графическую зависимость изменения величины нагрузки  $F_i$  от перемещения  $h_i$  индентора в момент вдавливания индентора и  $F_i'$  от  $h_i$  в момент разгрузки индентора, при этом для каждого цикла испытаний регистрируют значения  $h_{\max_i}$  и  $F_{\max_i}$  (Фиг. 2).

Для каждого цикла вдавливания индентора рассчитывают разницу между давлением в момент увеличения усилия  $P_i$  и его уменьшением  $P_i'$  по формуле  $\Delta P_i = P_i - P_i'$ . Строят графические зависимости изменения  $P_i$ ,  $P_i'$  и  $\Delta P_i$  от перемещения  $h_i$  индентора. На графике зависимости  $\Delta P_i$  от  $h_i$  определяют максимальное значение  $\Delta P_{\max_i}$  для каждого цикла испытаний (Фиг. 3).

Строят графическую зависимость между величинами максимальных разностей давлений  $\Delta P_{\max_i}$  и максимальными значениями нагрузки  $F_{\max_i}$  для всех циклов испытаний (Фиг. 4). На указанном графике горизонтальный участок, отражающий постоянные величины  $\Delta P_{\max_i} = 183$  МПа, соответствует пределу прочности на сжатие испытуемого материала.

Проверочные испытания, проведенные согласно ГОСТ 21153.8-88 с объемным разрушением образца, обеспечивают получение близких значений предела прочности на сжатие, отличающихся не более чем на 25%.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ определения прочности материала, включающий вдавливание индентора переменного сечения непрерывно возрастающей нагрузкой до максимального значения произвольной величины, после достижения которого прекращают вдавливание и производят разгрузку образца до нулевого значения, при этом регистрируют значение величины нагрузки и соответствующую ей глубину перемещения индентора, рассчитывают давление на контактной поверхности между индентором и образцом в



период возрастания нагрузки, отличающийся тем, что вдавливание и разгрузку индентора, не изменяя его положения, производят циклично, обеспечивая в каждом последующем цикле дискретное увеличение максимального значения нагрузки при которой начинается разгрузка, при этом в период разгрузки образца определяют 5 давление на контактной поверхности путем отношения значения нагрузки на индентор к максимальной площади контактной поверхности в каждом цикле, и также в каждом цикле для одной и той же глубины перемещения индентора рассчитывают разность между давлением на контактной поверхности в период увеличения нагрузки и давлением в период разгрузки, и определяют максимальное значение разности указанных давлений, 10 на основании установленной зависимости между максимальными значениями разности давлений, соответствующих значениям максимальных нагрузок в циклах определяют предел прочности испытываемого образца.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что площадь контактной поверхности рассчитывают как площадь внешней поверхности индентора переменного сечения или 15 как площадь его проекции при соответствующем положении индентора.

20

25

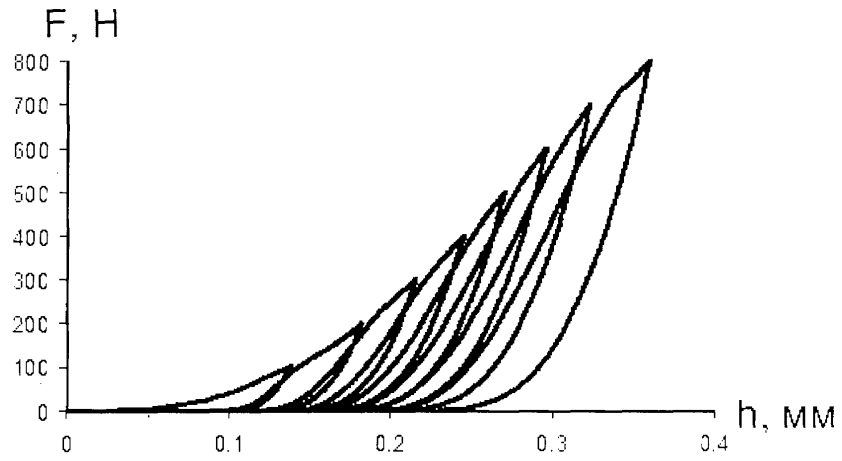
30

35

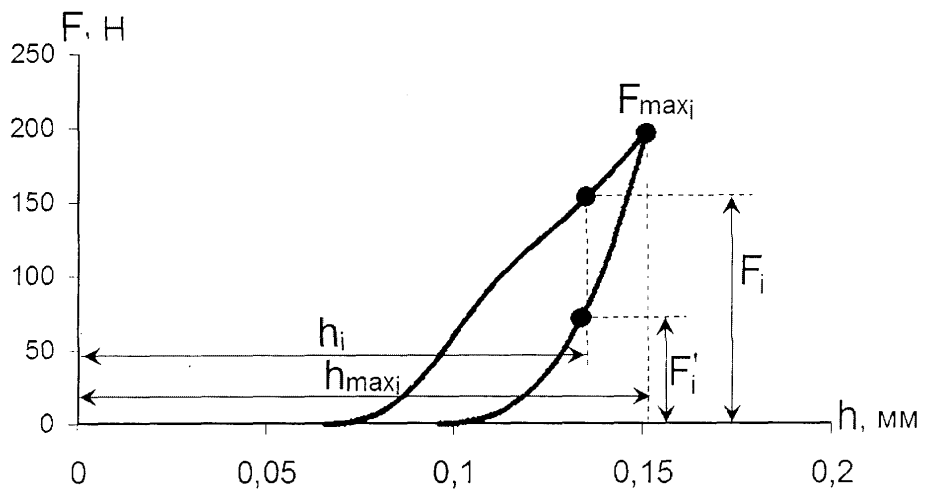
40

45

1

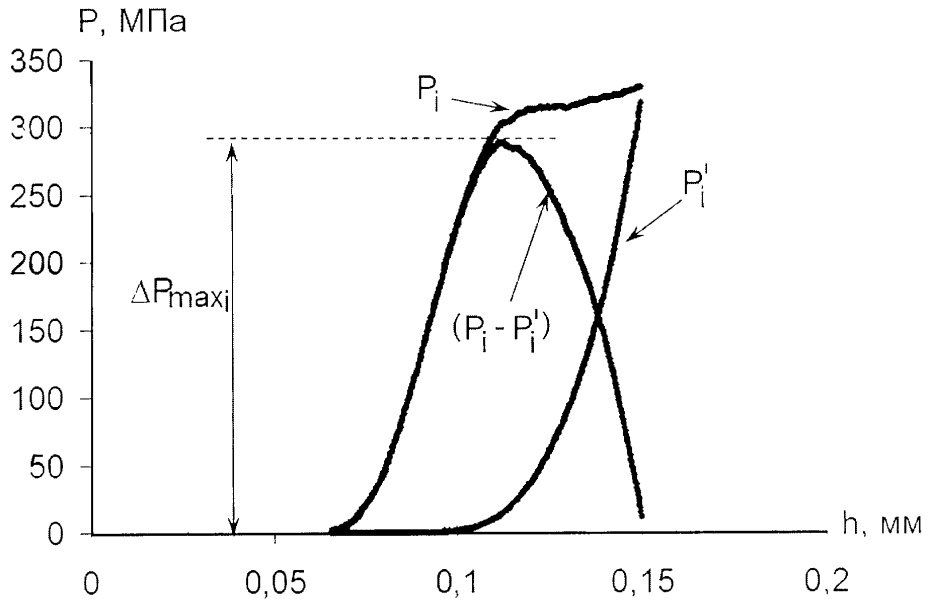


Фиг.1

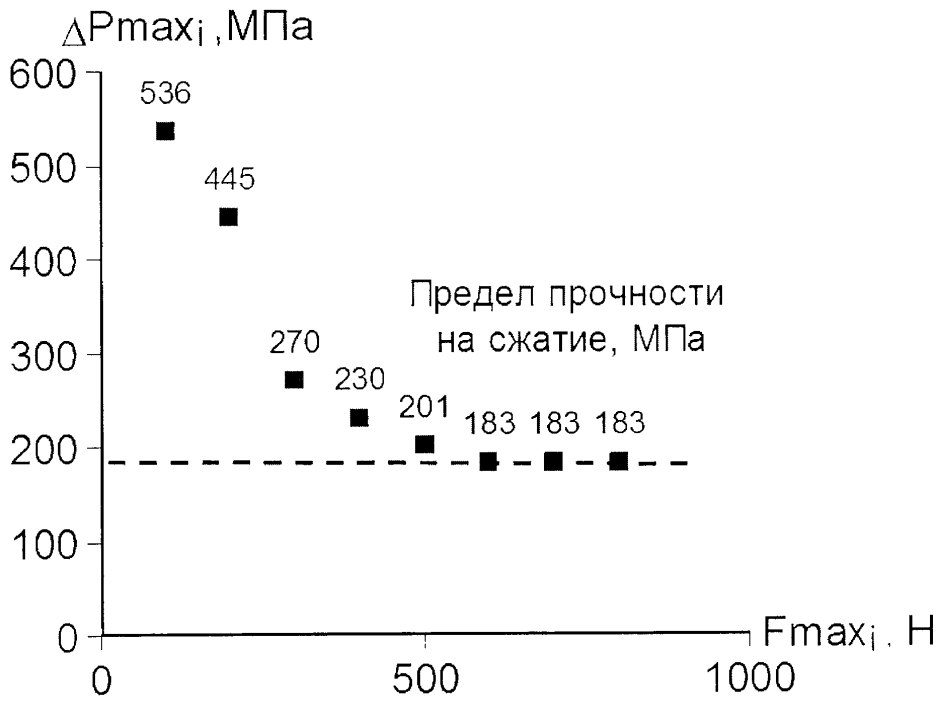


Фиг.2

2



Фиг.3



Фиг.4