

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2858002

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТВЕРДОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Шихов Александр Игоревич (RU), Громыка Дмитрий Сергеевич (RU), Уманский Александр Сергеевич (RU), Копытина Дарья Вячеславовна (RU)*

Заявка № 2025128622

Приоритет изобретения **20 октября 2025 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **11 марта 2026 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **20 октября 2045 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 3/40 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2025128622, 20.10.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.10.2025

Дата регистрации:
11.03.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.10.2025

(45) Опубликовано: 11.03.2026 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "СПГУ", Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):

Шихов Александр Игоревич (RU),
Громька Дмитрий Сергеевич (RU),
Уманский Александр Сергеевич (RU),
Копытина Дарья Вячеславовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2223477 C1, 10.02.2004. RU
2668360 C2, 28.09.2018. SU 1237948 A1,
15.06.1986. RU 90202 U1, 27.12.2009. TW I408367
B, 11.09.2013.

(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТВЕРДОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

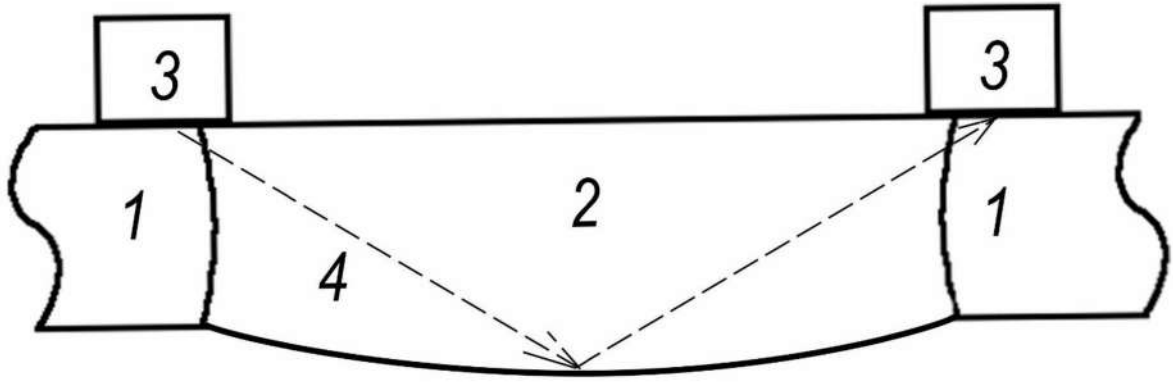
(57) Реферат:

Изобретение относится к технике неразрушающего контроля механических свойств материалов путем вдавливания в него индентора и может быть использовано для контроля твердости, модуля упругости и коэффициента Пуассона материала. Сущность: осуществляют измерения скоростей продольной и поперечной ультразвуковых волн, измерения реального значения коэффициента Пуассона и модуля

упругости, и последующий расчет поправочного коэффициента, учитывающего различие реального и калибровочного модулей упругости. С учетом значения поправочного коэффициента, определяют уточненное значение твердости. Технический результат: повышение точности контроля твердости сварных соединений трубопроводов. 3 ил.

RU 2 858 002 C1

RU 2 858 002 C1



Фиг. 1

RU 2858002 C1

RU 2858002 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 3/40 (2026.01)

(21)(22) Application: **2025128622, 20.10.2025**

(24) Effective date for property rights:
20.10.2025

Registration date:
11.03.2026

Priority:

(22) Date of filing: **20.10.2025**

(45) Date of publication: **11.03.2026** Bull. № 8

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "SPGU", Patentno-litsenzionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Shikhov Aleksandr Igorevich (RU),
Gromyka Dmitrii Sergeevich (RU),
Umanskii Aleksandr Sergeevich (RU),
Kopytina Daria Viacheslavovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **METHOD FOR HARDNESS TESTING OF PIPELINE WELDED JOINTS**

(57) Abstract:

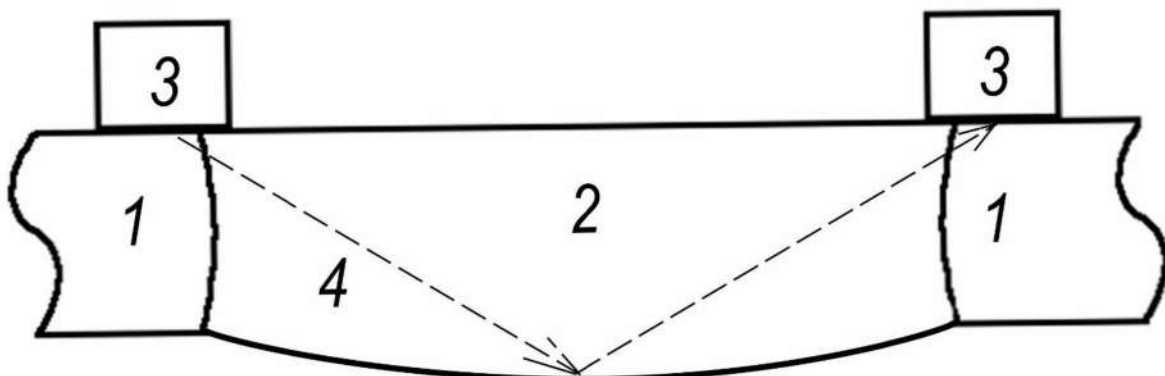
FIELD: pipeline industry.

SUBSTANCE: invention relates to the technique of non-destructive testing of mechanical properties of materials by indenting an indenter into it and can be used to control the hardness, elastic modulus and Poisson's ratio of a material. Substance: measurements of the velocities of longitudinal and transverse ultrasonic waves, measurements of the actual value of Poisson's

ratio and elastic modulus, and subsequent calculation of a correction factor taking into account the difference between the actual and calibration elastic moduli are carried out. Taking into account the value of the correction factor, a refined hardness value is determined.

EFFECT: increase in the accuracy of hardness testing of pipeline welded joints.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к технике неразрушающего контроля механических свойств материалов путем вдавливания в него индентора и может быть использовано для контроля твердости, модуля упругости и коэффициента Пуассона материала.

Известен способ определения твердости металла на действующем трубопроводе ударнодинамическим прибором (Патент РФ № 2604965, опубл. 20.12.2016), заключающийся в определении твердости путем нанесения удара по боковой поверхности трубопровода, при этом результат измерения увеличивают на величину поправки, получаемой при определении твердости на образцовой трубе.

Недостатком данного способа является зависимость параметров отскока бойка от толщины, диаметра и материала трубы, что сильно снижает точность измерения твердости.

Известен способ измерения динамической твердости материалов (Патент РФ № 2288458, опубл. 27.11.2006), заключающийся в нанесении удара по материалу сферическим индентором, определении упругих свойств материала, и расчета динамической твердости на основании величин коэффициента восстановления, коэффициентов, характеризующих упругие свойства материала сферического индентора и испытуемого материала, коэффициентов Пуассона материала сферического индентора и испытуемого материала, модулей нормальной упругости материала сферического индентора и испытуемого материала, плотности материала сферического индентора, приведенной к объему его сферы, и скорости ударного нагружения испытуемого материала сферическим индентором.

Недостатком данного способа является необходимость изготовления и подготовки образцов испытуемого изделия, а также большой разброс параметров отскока бойка от шероховатости и характеристик нанесения удара.

Известен способ определения твердости материалов (Патент РФ № 2435154, опубл. 27.11.2011), заключающийся во внедрении под действием усилия индентора в образец и приведении их в относительное перемещение, перпендикулярное направлению приложения усилия и определению твердости по получаемым кривым «усилие-перемещение».

Недостатком данного способа является необходимость изготовления и подготовки образцов из исследуемого объекта, а также нарушение поверхности материала шариковым и коническим инденторами, из-за чего ухудшаются эксплуатационные свойства материала.

Известен способ электроакустического контроля твердости материала (Патент РФ № 2045025, опубл. 27.09.1995), заключающийся в воздействии на материал колеблющегося индентора и определении твердости по резонансной частоте и максимальной по модулю амплитуде затухающих в результате внедрения индентора в материал колебаний.

Недостатком данного способа является низкая точность определения твердости, возникающая вследствие большого трения опорной поверхности в области контакта с индентором.

Наиболее близким к заявленному способу является способ измерения твердости (Патент РФ № 2668360, опубл. 28.09.2018), принятый за прототип, заключающийся во внедрении в материал колеблющегося на резонансной частоте, определении величины приложенной нагрузки, а также соответствующих резонансных частот под нагрузкой и без нее, и определении твердости при разных нагрузках.

Недостатком данного способа является существенная зависимость показаний сдвига частоты колебаний от упругих свойств материала, не учитываемых при проведении

измерений, что существенно снижает точность измерения твердости.

Техническим результатом является повышение точности контроля твердости сварных соединений трубопроводов.

Технический результат достигается тем, что на участке трубопровода после проведения сварочных работ, выполняют зачистку сварочного шва и околошовной зоны, далее наклонные ультразвуковые преобразователи устанавливают симметрично по разные стороны сварного шва, и проводят измерение времени распространения поперечной волны, полученные данные передают на персональный компьютер и рассчитывают скорость распространения поперечной волны V_s и толщину стенки трубы h в области сварного шва, затем в центр шва устанавливают прямой пьезоэлектрический преобразователь и измеряют время распространения продольной волны в его зоне, полученные данные передают на персональный компьютер и рассчитывают скорость распространения продольной волны V_p , после этого в центр шва устанавливают электроакустический преобразователь, в качестве которого используют стержневой акустический резонатор с индентором, который возбужден на резонансной частоте, к которому прикладывают фиксированную нагрузку и производят измерение твердости, при этом величину твердости определяют исходя из сдвига резонансной частоты затухания колебания зонда, снабженного индентором, при внедрении в материал, по величине сдвига частоты определяют твердость при этом используют калибровочную зависимость твердости от сдвига частоты и, с учетом значения поправочного коэффициента, определяют уточненное значение твердости:

$$HV_{UCI}^{real} = HV_{UCI}^{calib} \cdot k_i, \text{ где}$$

HV_{UCI}^{calib} - значение твердости определенной по калибровочной зависимости далее делают вывод о качестве сварного соединения на основании сравнения получаемого результата HV_{UCI}^{real} с известной твердостью основного материала трубы

$$HV_{UCI}^{pipe}:$$

$$|HV_{UCI}^{pipe} - HV_{UCI}^{real}| < 50$$

в случае соблюдения неравенства, сварное соединение признают качественным, в случае несоблюдения неравенства - соединение признают некачественным.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема проведения измерений двумя наклонными ультразвуковыми преобразователями на участке сварного шва;

фиг. 2 - схема проведения измерений прямым ультразвуковым преобразователем на участке сварного шва;

фиг. 3 - схема контроля твердости на участке сварного шва, где:

1 - участок трубопровода;

2 - участок сварного шва;

3 - наклонный ультразвуковой преобразователь;

4 - направление распространения поперечной ультразвуковой волны;

5 - прямой ультразвуковой преобразователь.

6 - направление распространения продольной ультразвуковой волны

7 - твердомер с электроакустическим преобразователем.

Способ осуществляют следующим образом. На контролируемом участке трубопровода 1 (фиг 1) после проведения сварочных работ выполняют зачистку

сварочного шва и околошовной зоны 2. Далее наклонные ультразвуковые преобразователи 3 устанавливают по разные стороны сварного шва симметрично центру шва. После этого проводят измерение времени распространения поперечной волны 4, и полученные данные передают на персональный компьютер (ПК) и рассчитывают скорость распространения поперечной волны V_s и толщину стенки трубы h в области сварного шва.

Затем в центр шва устанавливают прямой пьезоэлектрический преобразователь 5 (фиг 2) и выполняют измерение времени распространения продольной волны 6 в зоне сварного шва, и полученные данные передают на ПК и рассчитывают скорость распространения продольной волны V_p .

Далее рассчитывают действительное значение коэффициента Пуассона (μ) по формуле:

$$\mu = \frac{1 - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2}{2 - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2}$$

На основе полученных данных рассчитывают действительное значение модуля упругости сварного шва по формуле:

$$E_{real} = V_p^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

где ρ - плотность материала (справочная величина).

После этого рассчитывают значение поправочного коэффициента по формуле:

$$k_i = \frac{E_{real}}{E_{calib}}$$

где E_{calib} - справочное значение модуля упругости, используемое при калибровке твердомера по методу UCI.

Далее в центр шва устанавливают электроакустический преобразователь 7 (фиг 3) в качестве которого используют стержневой акустический резонатор с индентором, который возбужден на резонансной частоте. После этого, к индентору прикладывают фиксированную нагрузку и производят измерение твердости, при этом величину твердости определяют исходя из сдвига резонансной частоты затухания колебания зонда, снабженного индентором, при внедрении в материал. По величине сдвига частоты определяют твердость по имеющейся калибровочной зависимости твердости от сдвига частоты и, с учетом определенного значения поправочного коэффициента, определяют уточненное значение твердости:

$$HV_{UCI}^{real} = HV_{UCI}^{calib} \cdot k_i, \text{ где}$$

HV_{UCI}^{calib} - значение твердости определенной по калибровочной зависимости.

После расчета вывод о качестве сварного соединения выносится на основании сравнения получаемого результата HV_{UCI}^{real} с известной твердостью основного материала

трубы HV_{UCI}^{pipe} :

$$|HV_{UCI}^{pipe} - HV_{UCI}^{real}| < 50$$

Далее, в случае соблюдения неравенства, сварное соединение признается качественным, в случае несоблюдения неравенства - соединение признается некачественным и бракуется.

Способ поясняется следующими примерами.

Пример 1. Положительный результат контроля качества сварного шва газопровода, выполненного из стали 45.

Участок газопровода, выполненного из стали 45, в месте сварного соединения защищается по согласно требованиям к ультразвуковому контролю. Два наклонных ультразвуковых преобразователя по схеме «Тандем» расположены на границе сварного шва с двух сторон от него. Расстояние между преобразователями составляет 10 мм. В результате измерения получили скорость распространения поперечной волны равную 3280 м/с и толщину образца 12 мм. Прямым пьезоэлектрическим преобразователем измерили скорость распространения продольной волны по формуле, равную 5985 м/с. Далее рассчитали коэффициент Пуассона, равный 0,285.

В результате измерений получены значения скорости распространения продольной ультразвуковой волны внутри сварного шва. Далее была измерена скорость распространения продольной ультразвуковой волны, равная 5985 м/с и коэффициент Пуассона, равный 0,285. Далее рассчитывается реальное значение модуля упругости на данном участке:

$$E_{real} = V_p^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} = 5985^2 * 7850 \frac{(1 + 0,285)(1 - 2 * 0,285)}{(1 - 0,285)} = 217 ГПа$$

На основании полученного значения реального модуля упругости определяется значение поправочного коэффициента:

$$k_i = \frac{E_{real}^i}{E_{calib}} = \frac{217}{200} = 1,085$$

Далее в тех же точках, где проводились измерения скорости распространения продольной ультразвуковой волны, были проведены измерения твердости электроакустическими преобразователями. В качестве материала для калибровки преобразователя были использованы стальные меры, модуль упругости которых равен 200 ГПа. Получаемые преобразователем результаты измерения твердости корректируются с учетом полученной поправки.

С помощью электроакустического преобразователя была измерена твердость, имеющая значение 188 HV. Далее с учетом полученной на предыдущем шаге поправки было рассчитано реальное значения твердости:

$$HV_{UCI}^{real} = HV_{UCI}^{calib} \cdot k_i = 188 * 1,085 = 203,98 HV$$

Твердость основного металла у контролируемого трубопровода составляет 180 HV, качество сварного соединения определялось по неравенству:

$$|203,98 - 180| < 50$$

Так как данное неравенство соблюдается, то сварной шов признается качественным.

Пример 2. Отрицательный результат контроля качества сварного шва газопровода, выполненного из стали 45.

Проводят измерения скоростей поперечной и продольной волн, коэффициента Пуассона и поправочного коэффициента, аналогичные описанным в Примере 1.

Далее с помощью электроакустического преобразователя была измерена твердость, имеющая значение 224 HV. Далее с учетом полученной на предыдущем шаге поправки
5 было рассчитано реальное значения твердости:

$$HV_{UCI}^{real} = HV_{UCI}^{calib} \cdot k_i = 224 \cdot 1,085 = 243,04 \text{ HV}$$

Твердость основного металла у контролируемого трубопровода составляет 180 HV, качество сварного соединения определялось по неравенству:

$$10 \quad |243,04 - 180| < 50$$

Так как данное неравенство не соблюдается, то сварной шов признается некачественным, производится его удаление и заложение нового сварного шва.

Пример 3. Положительный результат контроля качества сварного шва газопровода, выполненного из стали 09Г2С.
15

Участок газопровода, выполненного из стали 09Г2С, зачищается в месте контроля, и два наклонных ультразвуковых преобразователя расположили на границе сварного шва с двух сторон от него. Расстояние между преобразователями составляет 8 мм. В результате измерения получили скорость распространения поперечной волны равную
20 3250 м/с и толщину образца 10 мм. Прямым пьезоэлектрическим преобразователем измерили скорость распространения продольной волны, равную 5945 м/с. Далее рассчитали коэффициент Пуассона, равный 0,287. Реальное значение модуля упругости E_{real} на данном участке было посчитано равным 213 ГПа

На основании полученного значения реального модуля упругости по формуле было
25 определено значение поправочного коэффициента k_i , равное 1,065.

Далее в тех же точках, где проводились измерения скорости распространения продольной ультразвуковой волны, были проведены измерения твердости электроакустическими преобразователями. В качестве материала для калибровки преобразователя были использованы стальные меры, модуль упругости которых равен
30 200 ГПа.

С помощью электроакустического преобразователя была измерена твердость, имеющая значение 422 HV. Далее с учетом полученной на предыдущем шаге поправки было рассчитано реальное значения твердости, равное 449,43 HV. Твердость основного металла у контролируемого трубопровода составляет 440 HV, качество сварного
35 соединения определялось по неравенству:

$$|449,43 - 440| < 50$$

Так как данное неравенство соблюдается, то сварной шов признается качественным.

Пример 4. Отрицательный результат контроля качества сварного шва газопровода, выполненного из стали 09Г2С.
40

Проводят измерения скоростей поперечной и продольной волн, коэффициента Пуассона и поправочного коэффициента, аналогичные описанным в Примере 3.

Далее в тех же точках, где проводились измерения скорости распространения продольной ультразвуковой волны, были проведены измерения твердости
45 электроакустическими преобразователями. В качестве материала для калибровки преобразователя были использованы стальные меры, модуль упругости которых равен 200 ГПа.

С помощью электроакустического преобразователя была измерена твердость,

имеющая значение 470 HV. Далее с учетом полученной на предыдущем шаге поправки было рассчитано реальное значения твердости, равное 500,55 HV. Твердость основного металла у контролируемого трубопровода составляет 440 HV, качество сварного соединения определялось по неравенству:

$$|500,55 - 440| < 50$$

Так как данное неравенство не соблюдается, то сварной шов признается некачественным, производится его удаление и заложение нового сварного шва.

Повышение точности контроля твердости сварных соединений трубопроводов возможно за счет измерения скоростей продольной и поперечной ультразвуковых волн, измерения реального значения коэффициента Пуассона и модуля упругости, и последующего расчета поправочного коэффициента, учитывающего различие реального и калибровочного модулей упругости.

(57) Формула изобретения

Способ контроля твердости сварных соединений трубопроводов, включающий снабжение индентором стержневого акустического резонатора, возбуждение стержневого акустического резонатора на резонансной частоте, установку индентора на контролируемую поверхность, прикладывание к нему фиксированной нагрузки и измерение резонансных частот стержневого акустического резонатора, отличающийся тем, что на участке трубопровода после проведения сварочных работ выполняют зачистку сварочного шва и околошовной зоны, далее наклонные ультразвуковые преобразователи устанавливают симметрично по разные стороны сварного шва и проводят измерение времени распространения поперечной волны, полученные данные передают на персональный компьютер и рассчитывают скорость распространения поперечной волны V_s и толщину стенки трубы h в области сварного шва, затем в центр шва устанавливают прямой пьезоэлектрический преобразователь и измеряют время распространения продольной волны в его зоне, полученные данные передают на персональный компьютер и рассчитывают скорость распространения продольной волны V_p , после этого в центр шва устанавливают электроакустический преобразователь, в качестве которого используют стержневой акустический резонатор с индентором, который возбужден на резонансной частоте, к которому прикладывают фиксированную нагрузку и производят измерение твердости, при этом величину твердости определяют исходя из сдвига резонансной частоты затухания колебания зонда, снабженного индентором, при внедрении в материал, по величине сдвига частоты определяют твердость при этом используют калибровочную зависимость твердости от сдвига частоты и, с учетом значения поправочного коэффициента, определяют уточненное значение твердости:

$$HV_{UCI}^{real} = HV_{UCI}^{calib} \cdot k_t, \text{ где}$$

HV_{UCI}^{calib} - значение твердости определенной по калибровочной зависимости, k_t - поправочный коэффициент,
далее делают вывод о качестве сварного соединения на основании сравнения

получаемого результата HV_{UCI}^{real} с известной твердостью основного материала трубы

$$HV_{UCI}^{pipe} :$$

$$|HV_{UCI}^{pipe} - HV_{UCI}^{real}| < 50$$

в случае соблюдения неравенства сварное соединение признают качественным, в случае несоблюдения неравенства – соединение признают некачественным.

5

10

15

20

25

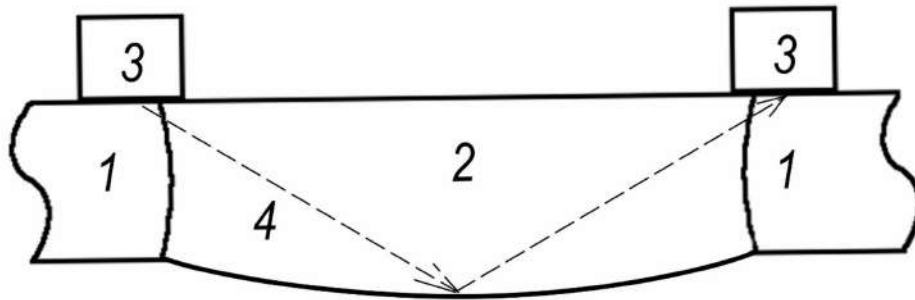
30

35

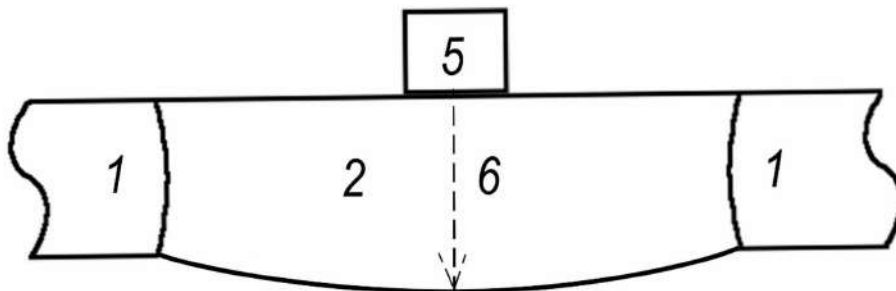
40

45

1

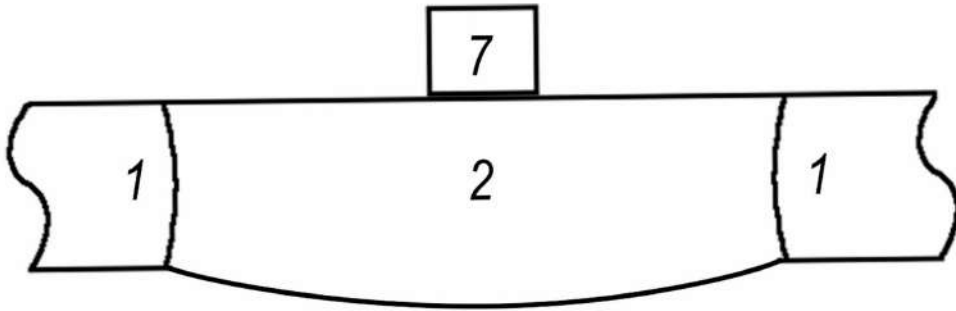


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3