РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 777 678** (13) **C1**

(51) МПК
G01N 19/04 (2006.01)
(52) СПК
G01N 19/04 *(2022.05)*

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.08.2022)
Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 13.07.2022 по 12.07.2023. При уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 13.07.2023 по 12.01.2024 размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2021134464, 12.07.2021**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.07.2021

Дата регистрации:
08.08.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **12.07.2021**

(45) Опубликовано: **08.08.2022** Бюл. № **22**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 125342 U1, 27.02.2013. CN 108181233 A, 19.06.2018. CN 104897565 B, 24.05.2017. RU 2522818 C1, 20.07.2014. CN 202033278 U, 09.11.2011.**

Адрес для переписки:
119071, Москва, Ленинский пр-кт, 31, корп. 4, ИФХЭ РАН

(72) Автор(ы):
Емельяненко Александр Михайлович (RU),
Бойнович Людмила Борисовна (RU)

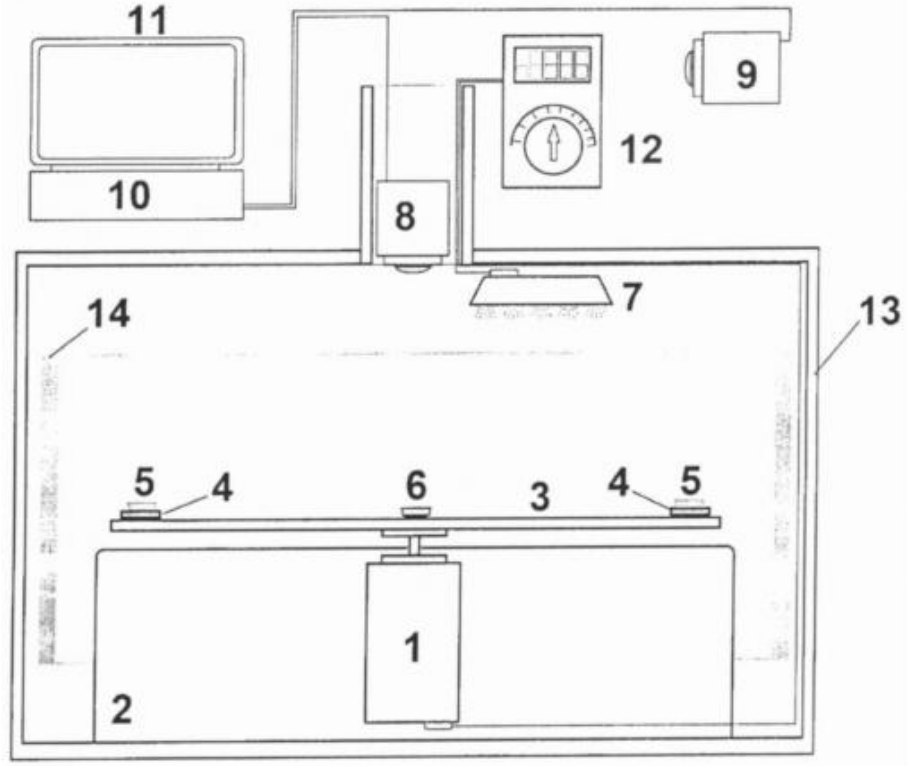
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) (RU)

(54) Центробежное устройство для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям

(57) Реферат:

Изобретение относится к области исследования материалов. Центробежное устройство для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям содержит серводвигатель, защитный кожух, диск для размещения тестируемых образцов, регистратор температуры, стробоскопический осветитель, две цифровые видеокамеры, видеорегистратор, монитор, блок управления серводвигателем и климатическую камеру. Серводвигатель размещен внутри климатической камеры, внутри которой закреплены стробоскопический осветитель и первая видеокамера. На оси серводвигателя установлен диск для тестируемых образцов. На диске имеются отверстия для крепления тестируемых образцов с намороженными пластинками льда. Первая видеокамера соединена с видеорегистратором, объектив которой направлен на диск для размещения тестируемых образцов. Снаружи климатической камеры размещены видеорегистратор с монитором, блок управления серводвигателем с индикатором частоты вращения. Объектив второй видеокамеры направлен на блок управления серводвигателем с

индикатором частоты вращения. Повышается достоверность результатов. 4 з.п. ф-лы, 2 ил., 1 табл.



Фиг. 1

Изобретение относится к области исследования материалов путем определения их физических свойств. Конкретно, предлагаемое устройство предназначено для измерения адгезионной прочности контакта льда с поверхностью испытуемого образца при разрушении этого контакта под действием сдвиговой нагрузки, приложенной в направлении, параллельном плоскости контакта.

Адгезионная прочность контакта льда с твердыми поверхностями количественно характеризует силу, которую нужно затратить для разделения единицы площади такого контакта. Знание этой характеристики весьма важно во многих отраслях промышленности, в частности, в авиации и электроэнергетике для оценки эффективности мер, принимаемых для борьбы с обледенением поверхностей самолетов, аэронавигационного оборудования, проводов и конструкций воздушных линий электропередач.

Из существующего уровня техники известны центробежный метод и устройство для измерения адгезионной прочности льда (C. Laforte and A. Beisswenger, Icephobic material centrifuge adhesion test. Proceedings of International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (I WAIS XI), Montreal, QC, Canada 2005, pp. 12-16), включающее термостатируемую комнату, в которой размещен двигатель с возможностью линейного изменения скорости вращения, закрепляемая на оси двигателя алюминиевая консоль, металлический кожух с пьезодатчиками ударных вибраций, и компьютер для управления запуском двигателя, фиксации момента разрушения адгезионного контакта и обработки полученных результатов измерений. В данном устройстве лед формируется на одном конце алюминиевой консоли в отдельно расположенной камере ледяного дождя, после чего взвешивается и на другом конце консоли устанавливается противовес, подобранный соответственно весу сформированного льда; консоль со льдом переносится в испытательную камеру и фиксируется на оси электродвигателя внутри металлического кожуха, на стенках которого установлены 2 пьезоэлектрических датчика, чувствительных к вибрациям; под управлением компьютера запускается двигатель с известным законом линейного во времени увеличения скорости и фиксируется момент срабатывания пьезоэлемента на удар оторвавшегося образца льда о стенку металлического кожуха; на основании определенного времени от момента запуска двигателя до момента отрыва льда рассчитывается скорость вращения двигателя в момент отрыва и соответствующие ей центробежная сила и прочность адгезионного контакта. Недостатком рассматриваемого устройства является сложность и длительность подготовки образцов, в том числе необходимость отдельной камеры для нанесения льда на

поверхность, высокая доля неудачных испытаний, связанных с когезионным разрушением образца льда.

Известно также другое устройство (Патент CN 108181233 Material surface dynamic ice formation adhesion determination method and device thereof), которое включает в себя двигатель, консоль, устройство определения скорости вращения, дисплей скорости вращения и высокоскоростную видеокамеру, а испытуемые образцы поверхностей со сформированным льдом расположены на двух концах консоли. В данном устройстве в одном эксперименте возможно тестирование сразу двух образцов; достоинством метода также является прямое определение скорости вращения консоли в момент разрушения контакта льда с образцом тестируемой поверхности. Недостатком рассматриваемого устройства является высокая стоимость высокоскоростной видеокамеры, а также, при существующем уровне развития техники, ограниченная скоростью передачи и объемом носителя информации доступная продолжительность непрерывной записи видеопотока, что накладывает дополнительные ограничения на условия проведения измерений.

Технический результат заявленного изобретения является упрощение процедуры подготовки образцов для проведения измерений прочности адгезии льда, повышение статистической достоверности получаемых результатов за счет увеличения количества образцов, тестируемых в одном эксперименте, обеспечение возможности прямого сравнения величин прочности адгезии льда к разным материалам и/или покрытиям в одинаковых условиях в рамках одного эксперимента.

Технический результат заявленного изобретения достигается тем, что центробежное устройство для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям содержит серводвигатель, защитный кожух, диск для размещения тестируемых образцов, регистратор температуры, стробоскопический осветитель, первую цифровую видеокамеру, вторую цифровую видеокамеру, видеорегистратор, монитор, блок управления серводвигателем и климатическую камеру, при этом серводвигатель размещен внутри климатической камеры, также внутри климатической камеры закреплены стробоскопический осветитель и первая цифровая видеокамера, на вертикально ориентированной оси серводвигателя установлен диск для размещения тестируемых образцов, на поверхности диска для размещения тестируемых образцов выполнены резьбовые отверстия для крепления тестируемых образцов с намороженными пластинками льда, первая цифровая видеокамера соединена с видеорегистратором, объектив которой направлен на диск для размещения тестируемых образцов, снаружи климатической камеры размещены видеорегистратор с монитором, блок управления серводвигателем с цифровым индикатором частоты вращения серводвигателя, вторая цифровая видеокамера, соединенная с видеорегистратором, и объектив которой направлен на блок управления серводвигателем с цифровым индикатором частоты вращения серводвигателя. Кабели питания и управления к серводвигателю, осветителю и первой цифровой видеокамере подведены через порт доступа в верхней стенке климатической камеры. Серводвигатель закреплен в защитный кожух. Внутри климатической камеры дополнительно закреплен демпфирующий кожух для гашения импульса отрывающегося льда и защиты стенок климатической камеры от повреждения пластинками льда при работе устройства. В центре диска для размещения тестируемых образцов закреплен регистратор температуры.

Предлагаемое решение базируется на использовании стробоскопического эффекта, состоящего в том, что при освещении вращающегося объекта световыми вспышками с частотой, равной или кратной частоте вращения, объекта представляется наблюдателю (и фиксируется видеокамерой) как неподвижный.

Сущность заявленного изобретения дальнейшем поясняется детальным описанием, примерами и иллюстрацией, на которой изображено следующее:

на фиг. 1 - принципиальная схема центробежного устройства для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям, где:

1 - серводвигатель;
2 - защитной кожух;
3 - диск для размещения тестируемых образцов;
4 - тестируемые образцы;
5 - намороженная пластинка льда;
6 - регистратор температуры;
7 - стробоскопический осветитель;
8 - первая цифровая видеокамера;
9 - вторая цифровая видеокамера;
10 - видеорегистратор;
11 - монитор;

12 - блок управления серводвигателем (сервопривод);

13 - климатический камера;

14 - демпфирующий кожух;

на фиг. 2 - пример размещения тестируемых образцов.

Устройство поясняется фиг. 1, на которой изображена принципиальная схема центробежного устройства для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям.

На вертикально ориентированной оси серводвигателя 1, закрепленного в защитном кожухе 2, установлен диск для размещения тестируемых образцов 3. На поверхности диска выполнены резьбовые отверстия для крепления тестируемых образцов 4 с намороженными пластинками льда 5. Для контроля температуры поверхности диска с образцами используется регистратор температуры 6. Серводвигатель с кожухом и диском размещены внутри рабочей зоны 13 климатической камеры. Также внутри рабочей зоны закреплены стробоскопический осветитель 7, первая цифровая видеокамера 8 и демпфирующий кожух 14 для гашения импульса отрывающегося льда и защиты стенок климатической камеры от повреждения пластинками льда при работе устройства. Кабели питания и управления к серводвигателю, осветителю и видеокамере подведены через порт доступа в верхней стенке рабочей зоны климатической камеры. Снаружи климатической камеры размещены видеорегистратор 10 с монитором 11, блок управления серводвигателем 12 с цифровым индикатором частоты вращения серводвигателя, а также вторая цифровая видеокамера 9 для регистрации показаний индикатора частоты.

Устройство работает следующим образом. На поверхности диска 3 с помощью подходящих зажимов равномерно размещаются тестируемые образцы 4. Равномерность размещения необходима для соблюдения балансировки диска при вращении. Пример размещения представлен на фиг. 2. На поверхности образцов помещаются втулки, в которые заливается вода. Климатическая камера закрывается и включается охлаждение рабочей зоны. Первая цифровая видеокамера 8, соединенная с видеорегистратором 10 позволяет наблюдать на мониторе 11 процесс охлаждения и регистрировать момент кристаллизации льда на всех образцах, после чего образовавшиеся пластинки льда выдерживаются требуемое условиями эксперимента время при заданной отрицательной температуре. После указанной выдержки серводвигатель приводится во вращение путем подачи управляющего напряжения на блок управления серводвигателем 12, причем частота вращения пропорциональна управляющему напряжению. На цифровом индикаторе блока управления отражается частота вращения серводвигателя, одновременно управляющий сигнал такой же частоты подается на стробоскопический осветитель 7. Благодаря стробоскопическому эффекту изображение диска 3 с образцами 4, записываемое видеокамерой 8 на диск видеорегистратора 10 и отображаемое на мониторе 11, выглядит неподвижным, что позволяет четко фиксировать момент отрыва каждой втулки со льдом с поверхностей образцов. Одновременно вторая цифровая видеокамера 9 передает на видеорегистратор для записи и отображения на мониторе показания цифрового индикатора блока управления. Сопоставление каждому событию отрыва (непосредственно в процессе эксперимента или при последующем просмотре видеозаписей) частоты вращения серводвигателя позволяет вычислить прочность адгезионного контакта по формуле

$F=m\times R\times(2\pi\nu/60)^2/S$, где

F- прочность адгезионного контакта, Па;

m - масса ледяной пластинки с втулкой, кг;

R - расстояние от центра диска до центра ледяной пластинки в момент отрыва, м;

ν - частота вращения серводвигателя в момент отрыва, об/мин;

S - площадь контакта ледяной пластинки с образцом, $м^2$.

Предлагаемое в заявляемой модели техническое решение является новым и имеет следующие существенные отличия от известных решений:

- центробежное устройство для измерения адгезии льда размещено внутри климатической камеры, что позволяет проводить формирование адгезионного контакта лед - тестируемый образец и его разрушение в одном месте, без перемещения образцов и при хорошо контролируемой температуре;

- тестируемые образцы размещаются не на консоли, а на диске, что позволяет проводить одновременное тестирование большого количества образцов, и повышает статистическую достоверность получаемых результатов;

- для фиксирования моментов разрушения адгезионного контакта и определения скорости вращения диска с тестируемыми образцами в эти моменты используется

стробоскопический эффект, что упрощает наблюдение за большим количеством образцов и расшифровку экспериментальных результатов;

- регистрация процесса испытания производится с помощью стандартного видеозаписывающего оборудования - бытовых видеокамер и видеорегистратора, что обеспечивает существенное снижение затрат на подготовку и проведение измерений.

Таким образом, вся совокупность существенных признаков изобретения ранее неизвестна и приводит к новому техническому результату - снижению материальных и трудовых затрат на экспериментальное определение адгезии льда к тестируемым материалам и повышение статистической достоверности получаемых результатов.

Предлагаемое техническое решение промышленно применимо, так как для его реализации могут быть использованы стандартное оборудование, приспособления и материалы.

Примером реализации заявляемого технического решения является центробежное устройство для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям, в котором в качестве серводвигателя и блока управления серводвигателем используются соответственно двигатель EMJ-010ASA и сервопривод Servo EP-4 (Estun, Китай), в качестве стробоскопического осветителя - электронный тахометр Testo 477 (Testo, Германия), в качестве климатической камеры - камера Binder MK-53 (Binder, Германия), в качестве видеорегистратора с видеокамерами - готовый комплект IP видеонаблюдения с двумя уличными камерами PST IPK02CF (PST Ltd, Китай), в качестве регистратора температуры - регистратор DS1922L-F5 (Maxim Integrated, США).

В качестве примера измерения адгезии льда в Таблице 1 представлено сравнение величины адгезии льда при температуре -5°C к полированным и неполированным пластинам из сплава АМг2.

Таблица 1.

Вид образца	Номер образца	Масса втулки со льдом, кг	Площадь контакта, $м^2$	Расстояние от центра диска, м	Частота вращения серводвигателя в момент отрыва, об/мин	прочность адгезионного контакта, кПа
полированный	1-1	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2090	45.19
полированный	1-2	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2599	34.93
полированный	2-1	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2231	52.51
полированный	2-2	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2368	57.94
полированный	3-1	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2505	64.84
полированный	3-2	4.98×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2583	68.78
полированный	4-1	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	3424	60.63
полированный	4-2	5.05×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2376	58.96
полированный	5-1	4.98×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2367	57.72
полированный	5-2	5.06×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2066	44.65
полированный	6-1	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2586	69.11
полированный	6-2	5.03×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2066	44.41
Среднее значение для полированных						**55±9**
неполированный	7-1	5.02×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2966	91.39
неполированный	7-2	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	3620	135.45
неполированный	8-1	5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2962	90.67

неполи-рованный	8-2	5.07×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2396	60.19
неполи-рованный	9-1	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2972	45.68
неполи-рованный	9-2	5.01×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	3315	113.93
неполи-рованный	10-1	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	4214	91.83
неполи-рованный	10-2	5.04×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2972	92.09
неполи-рованный	11-1	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	4078	86.00
неполи-рованный	11-2	5.0×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2972	91.30
неполи-рованный	12-1	2.5×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	4435	101.72
неполи-рованный	12-2	5.06×10^{-4}	6.36×10^{-5}	0.12	2770	80.25
Среднее значение для неполированных						**90±15**

Формула изобретения

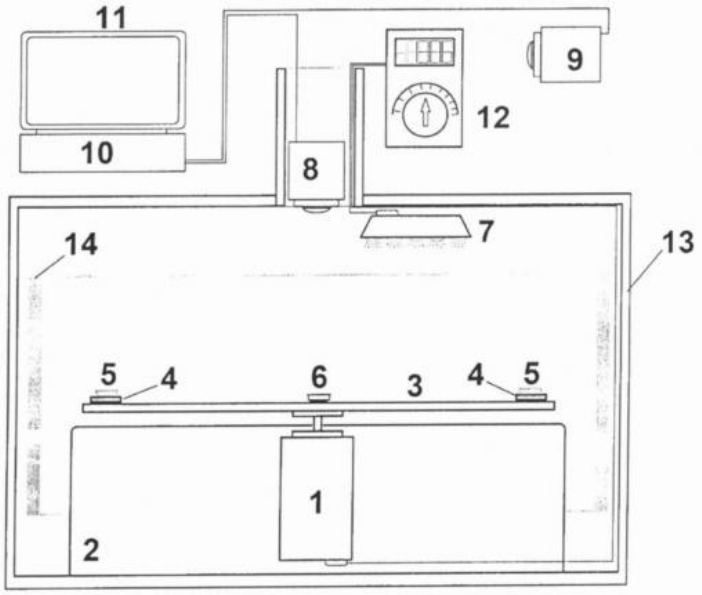
1. Центробежное устройство для измерения сдвиговой прочности адгезии льда к твердым поверхностям содержит серводвигатель, защитный кожух, диск для размещения тестируемых образцов, регистратор температуры, стробоскопический осветитель, первую цифровую видеокамеру, вторую цифровую видеокамеру, видеорегистратор, монитор, блок управления серводвигателем и климатическую камеру, при этом серводвигатель размещен внутри климатической камеры, также внутри климатической камеры закреплены стробоскопический осветитель и первая цифровая видеокамера, на вертикально ориентированной оси серводвигателя установлен диск для размещения тестируемых образцов, на поверхности диска для размещения тестируемых образцов выполнены резьбовые отверстия для крепления тестируемых образцов с намороженными пластинками льда, первая цифровая видеокамера соединена с видеорегистратором, объектив которой направлен на диск для размещения тестируемых образцов, снаружи климатической камеры размещены видеорегистратор с монитором, блок управления серводвигателем с цифровым индикатором частоты вращения серводвигателя, вторая цифровая видеокамера, соединенная с видеорегистратором, объектив которой направлен на блок управления серводвигателем с цифровым индикатором частоты вращения серводвигателя.

2. Центробежное устройство по п. 1, в котором кабели питания и управления к серводвигателю, осветителю и первой цифровой видеокамере подведены через порт доступа в верхней стенке климатической камеры.

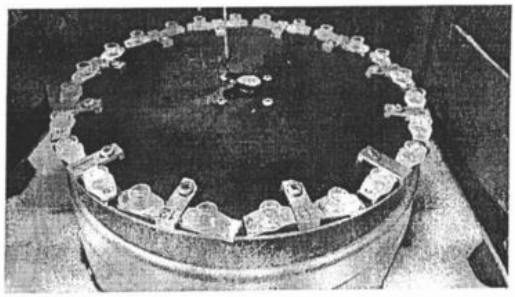
3. Центробежное устройство по п. 1, в котором серводвигатель закреплен в защитный кожух.

4. Центробежное устройство по п. 1, в котором внутри климатической камеры дополнительно закреплен демпфирующий кожух для гашения импульса отрывающегося льда и защиты стенок климатической камеры от повреждения пластинками льда при работе устройства.

5. Центробежное устройство по п. 1, в котором в центре диска для размещения тестируемых образцов закреплен регистратор температуры.



Фиг. 1



Фиг. 2