



«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ
РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ ШВАХ

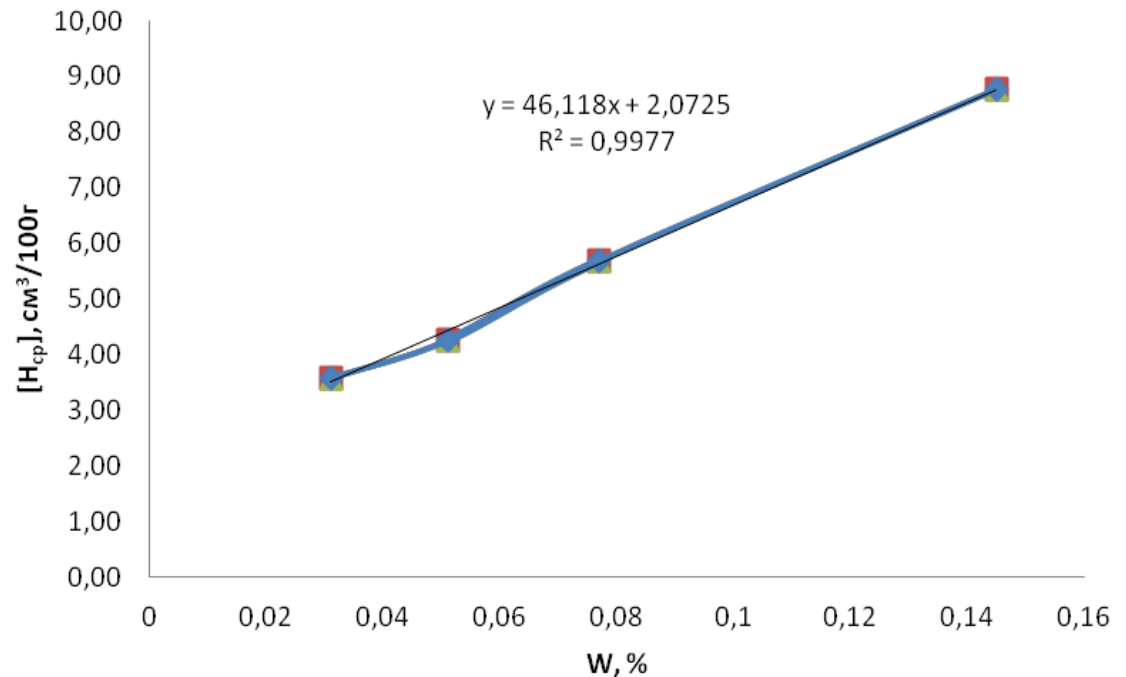
А.М. Левченко, О.В. Панченко



Источники водорода в сварных швах

Влага и соединения с водородом, содержащаяся в сварочных материалах, атмосфере и на поверхности основного металла.

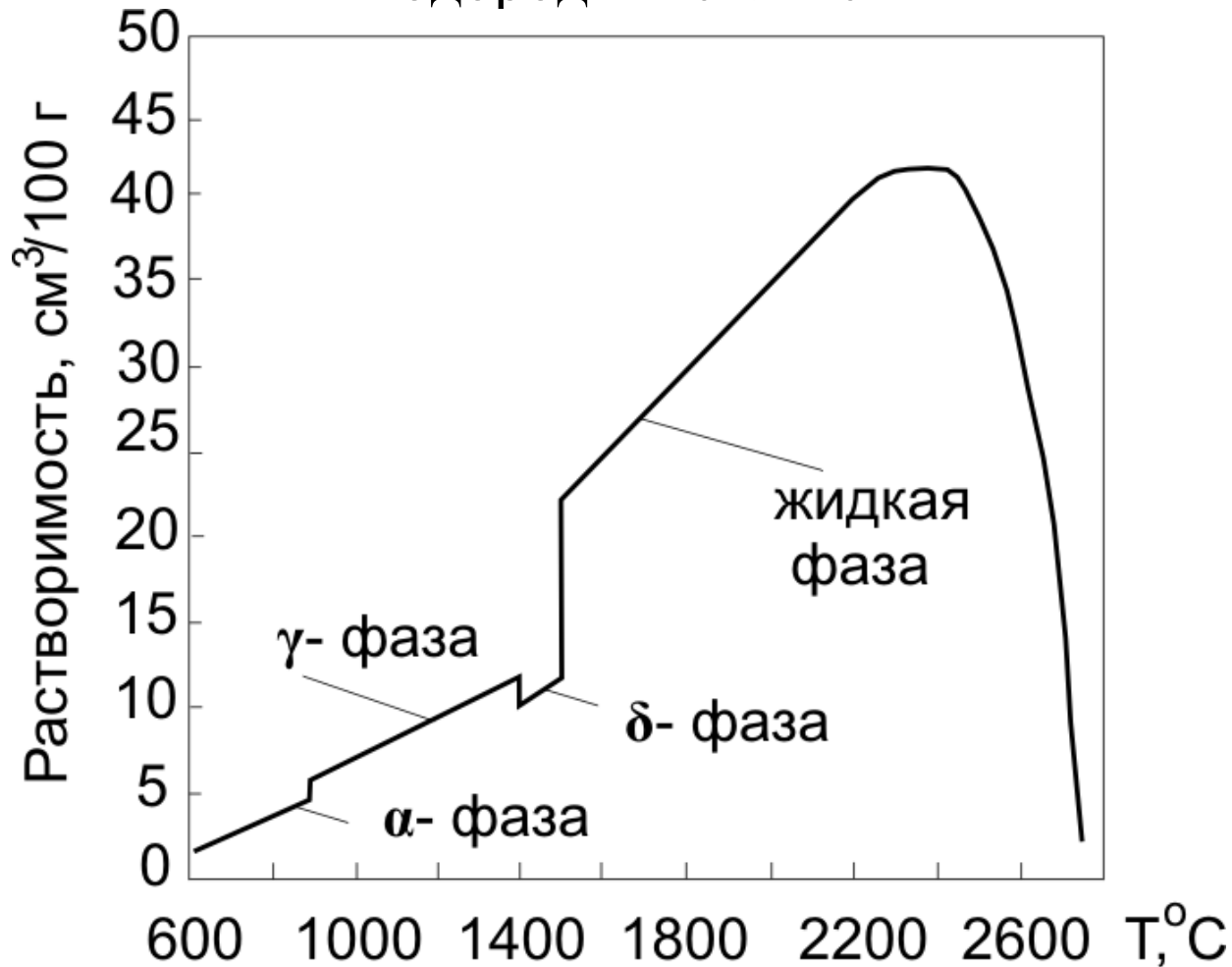
До 12% содержания водорода в наплавленном металле – водород, попавший из атмосферной влаги.



Зависимость содержания водорода от количества влаги в сварочном флюсе ФСА ЧТ А650-20/80



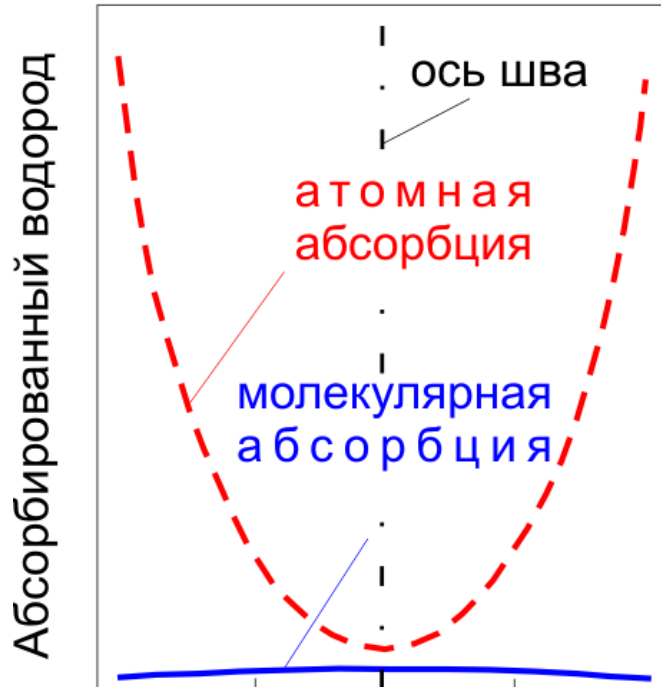
Водород в металле



Растворимость водорода в железе при различных температурах

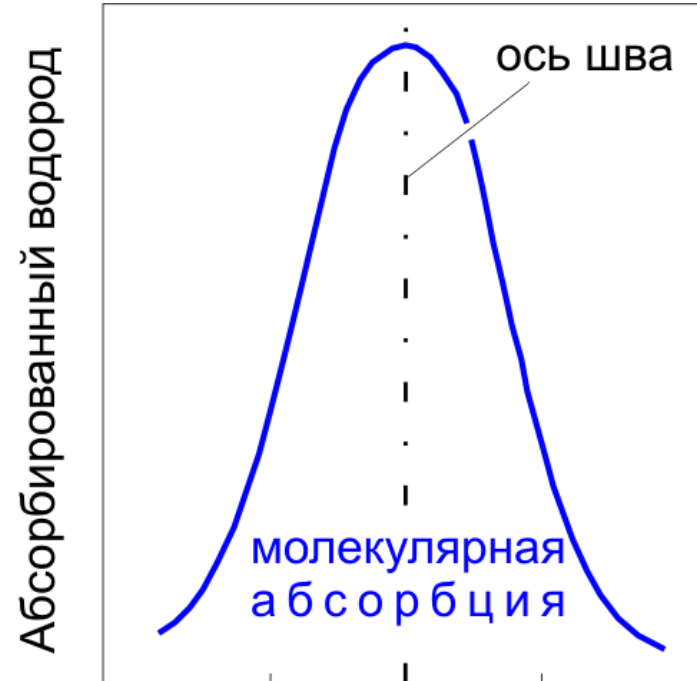


Водород в сварных швах



Ширина сварочной ванны

Модель Гедеона



Ширина сварочной ванны

Закон Сивертса

Абсорбция водорода металлом сварного шва

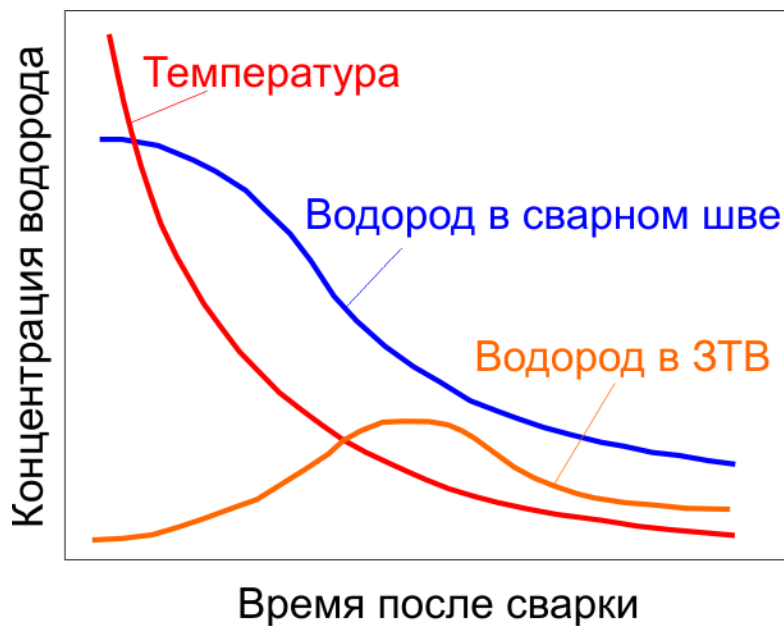


Водород в сварных швах

1. Затвердевание металла сварочной ванны протекает с большой скоростью.
2. При затвердевании металла равновесная концентрация водорода в металле становится меньше, что приводит к выделению водорода из затвердевающего металла.
3. Скорость затвердевания превышает скорость выделения водорода при остывании металла.
4. Концентрация водорода в затвердевшем металле сварного шва превышает равновесную концентрацию при текущей температуре.



Распределение водорода в сварных швах



Перераспределение водорода при остывании металла
ЗТВ – зона термического влияния

В затвердевшем металле происходит перераспределение водорода за счет процесса диффузии. Часть водорода в процессе диффузии сталкивается с энергетическими ловушками и связывается с ними.

Водород обладающий способностью к передвижению называется диффузионным.
Водород утративший способность двигаться (попавший в ловушки) – остаточным.



Распределение водорода в сварных швах

Водородные ловушки	Энергия связи водорода с ловушкой, кДж/моль	Температура высвобождения из ловушки, °С
Очень слабые ловушки (дислокации, поля упругих напряжений, дефекты кристаллических решеток)	7,7	30
Слабые ловушки (атомы замещения, границы зерен, дислокации, FeC и FeC ₃ включения, мартенситные включения)	17-36	112-270
Сильные ловушки (включения: Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , MnS, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiC, Ce ₂ O ₃)	37-112 129	305-750 >750

Влияние водорода на свойства металла

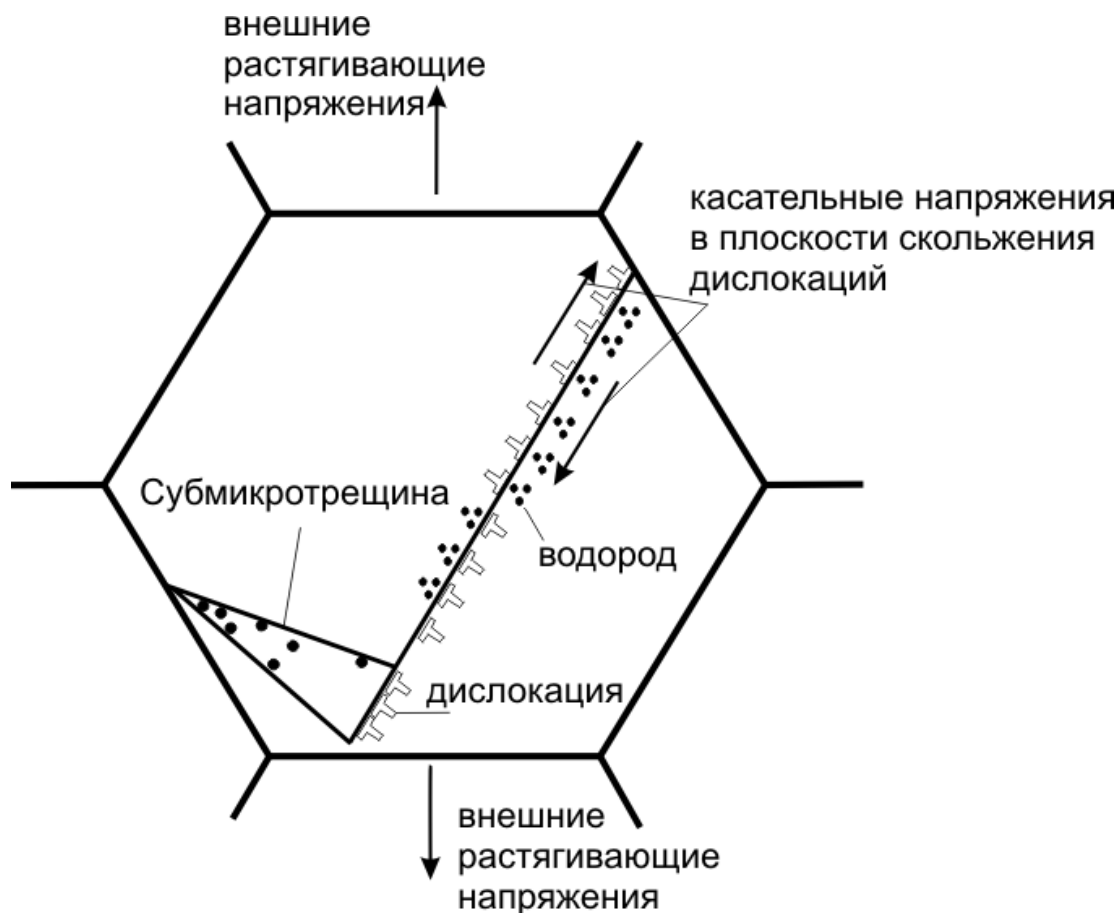
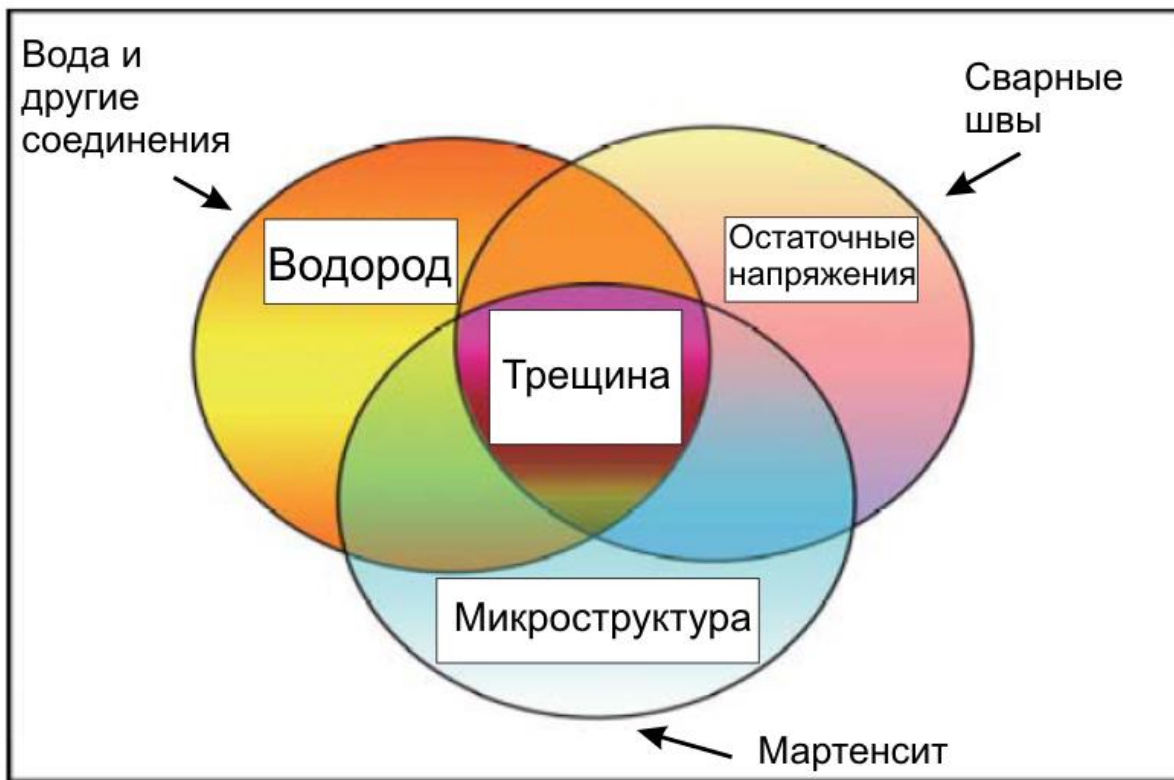


Схема образования микротрещины



Способы борьбы с водородом

Разработано множество теорий, но ни одна полностью не описывает все процессы. По этой причине пришли к критериальному способу оценки возникновения трещин.

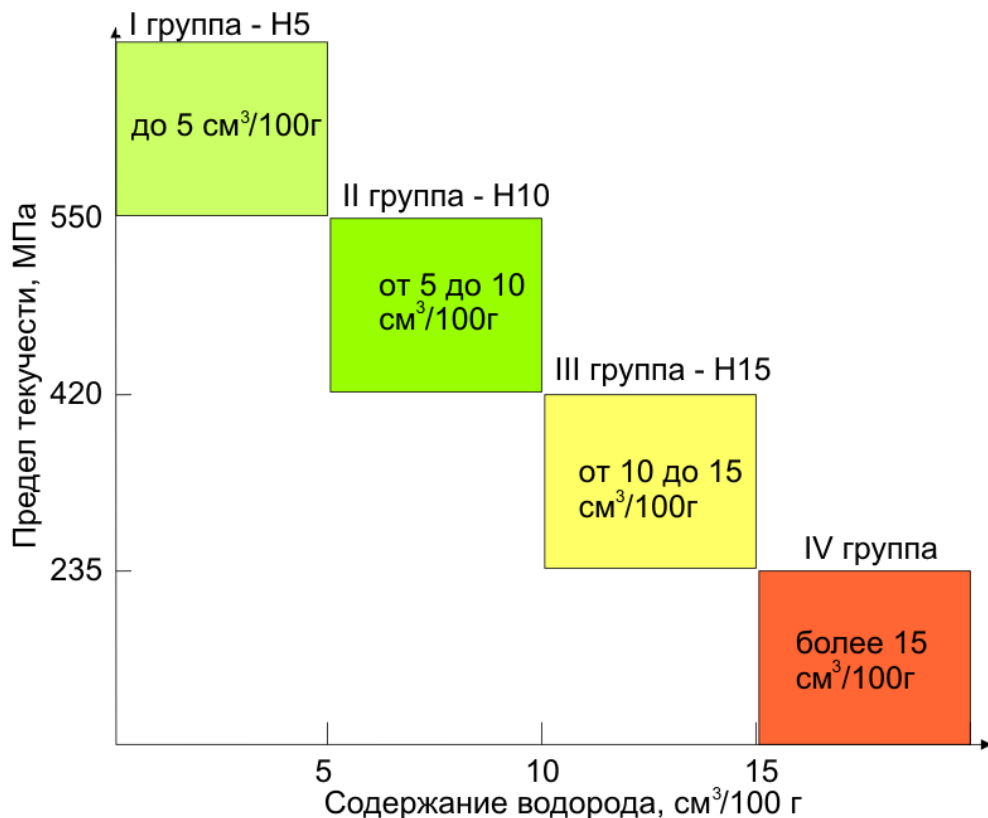


Критерий образования трещин



Способы борьбы с водородом

Разработаны системы классификации сварочных материалов по содержанию водорода

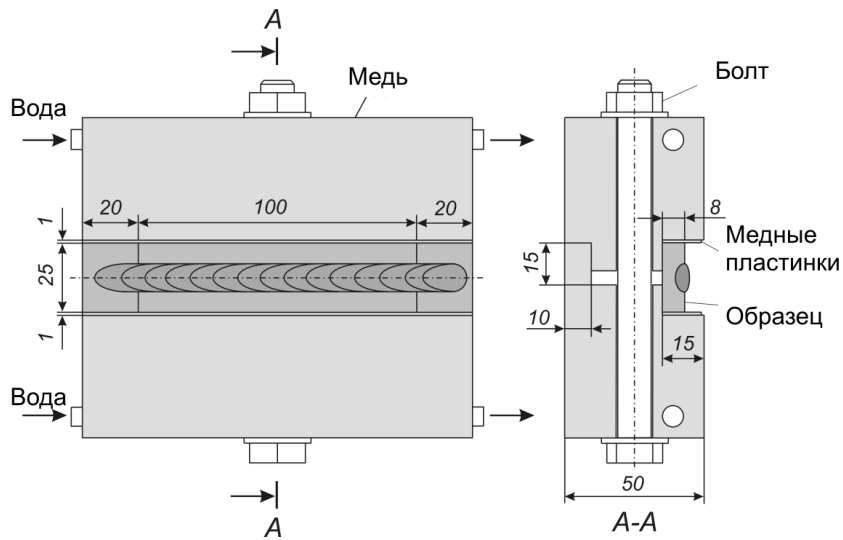


Деление сварочных материалов по содержанию водорода в наплавленном металле:
International Institute of Welding
5, 10 и 15 мл/100 г;
American Welding Society
4, 8 и 16 мл/100 г.

Система классификации МАКО

Вакуумная методика определения водорода

Вакуумная методика определения содержания водорода разработана в ЛПИ им. Калинина. На ее основе разработан первый отечественный стандарт на определение содержания водорода в сварных швах ГОСТ 23338. Методика признана DNV, British Lloyd, Germanischer Lloyd, PMPC.



Приспособление для наплавки

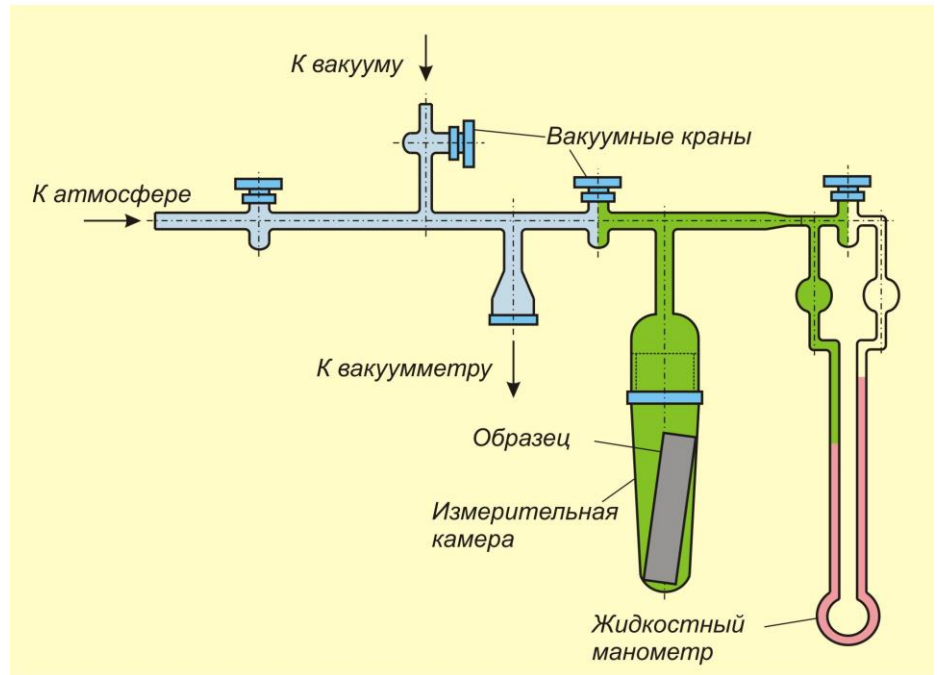
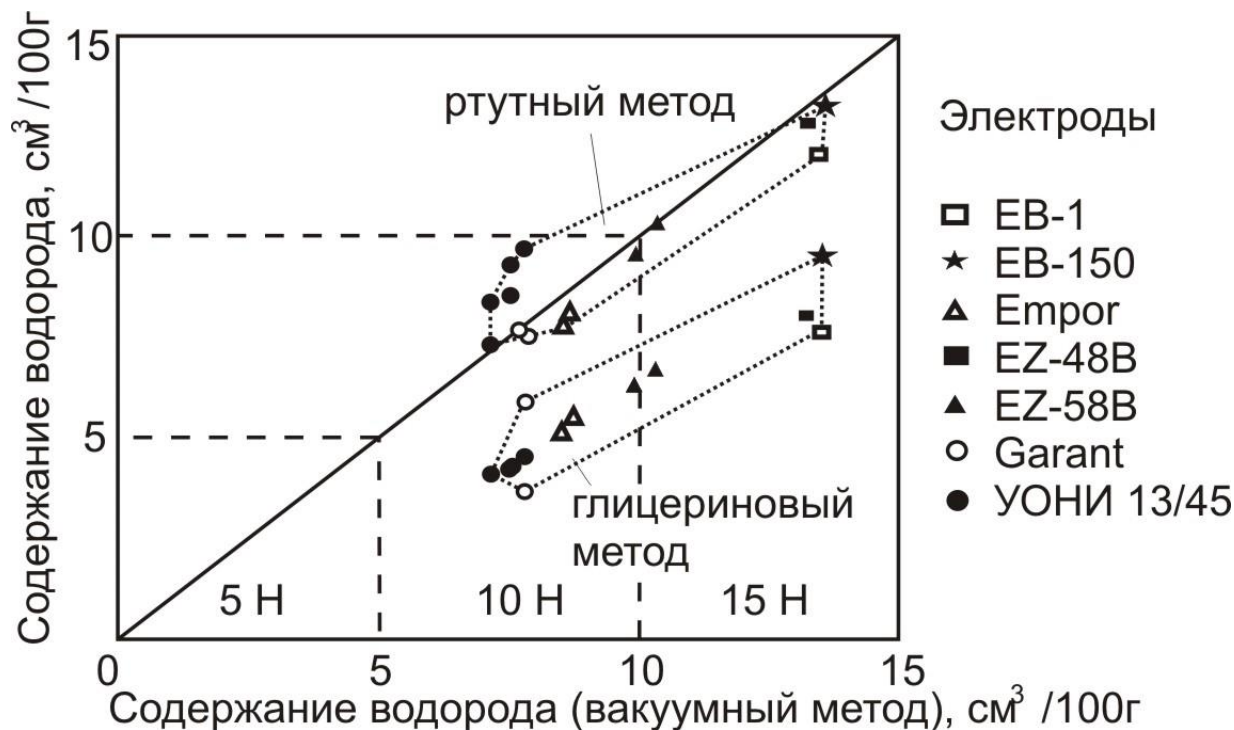


Схема установки



Вакуумная методика определения водорода

Методика проста, безопасна, точность соответствует эталонной во всем мире ртутной методике (ISO 3690).



Сравнение результатов определения содержания водорода



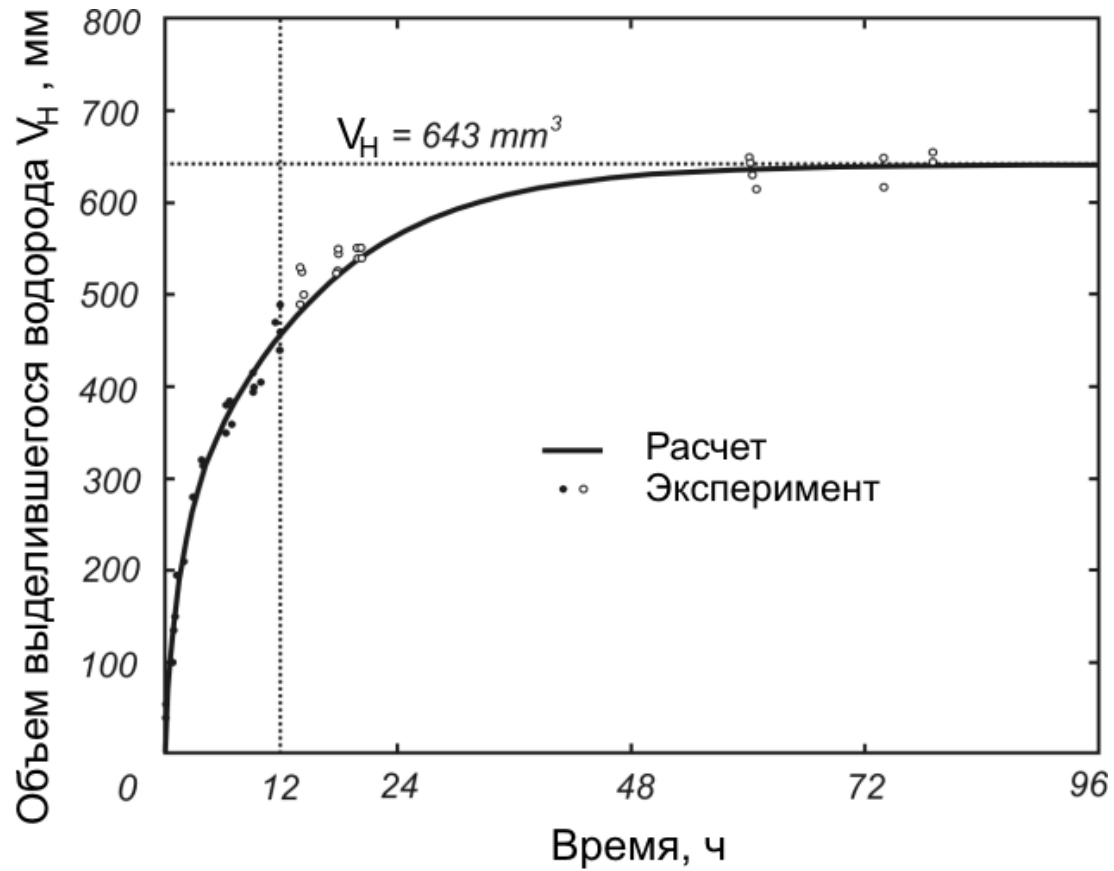
Опыт использования вакуумной методики определения водорода

Дата испытаний	Заказчик	Марка электродов	Диаметр, мм	Содержание водорода, мл/100 г
26.04.2014	ОАО "ИТЗ"	ОК 74.70	4,0	4,07
26.04.2014	ОАО "ММК Метиз"	УОНИ 13/45	4,0	6,65
03.04.2014	ОАО "ММК Метиз"	УОНИ 13/55	4,0	4,92
03.04.2014	ОАО "ММК Метиз"	ЛБ-52МК	3,2	4,50
16.05.2014	ОАО "ИТЗ"	ОК 74.70	4,0	3,57
15.08.2014	ОАО ИТЦ "ПРОМЕТЕЙ"	УОНИ - 13/55 ПЛАЗМА	4,0	6,19
14.11.2014	ЗАО "Электродный завод"	ЭЛЗ-62U	3,0	4,31
14.11.2014	ЗАО "Электродный завод"	ЭЛЗ-74.86	4,0	4,47
14.11.2014	ЗАО "Электродный завод"	ЭЛЗ-52U	3,0	6,27
14.11.2014	ЗАО "Электродный завод"	ЭЛЗ-74.70	3,0	5,54
01.12.2014	ЗАО "Электродный завод"	ЛВ-62U	3,0	3,42
16.05.2014	ОАО "ИТЗ"	ОК 74.70	4,0	3,63

Реестр ведется с 1992 года. Более 200 марок покрытых электродов, более 20 марок сварочных флюсов.



Ускоренная методика определения водорода



Объем водорода выделившегося из образца

Устройство для определения водорода

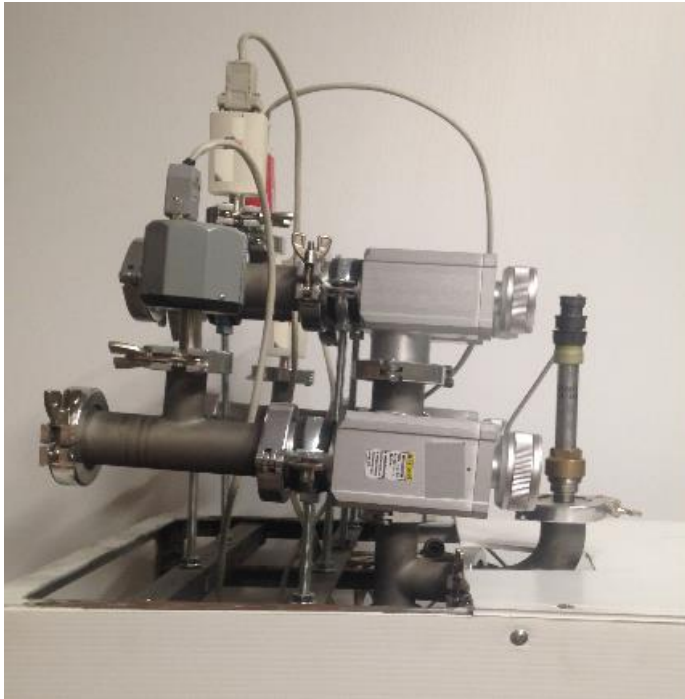
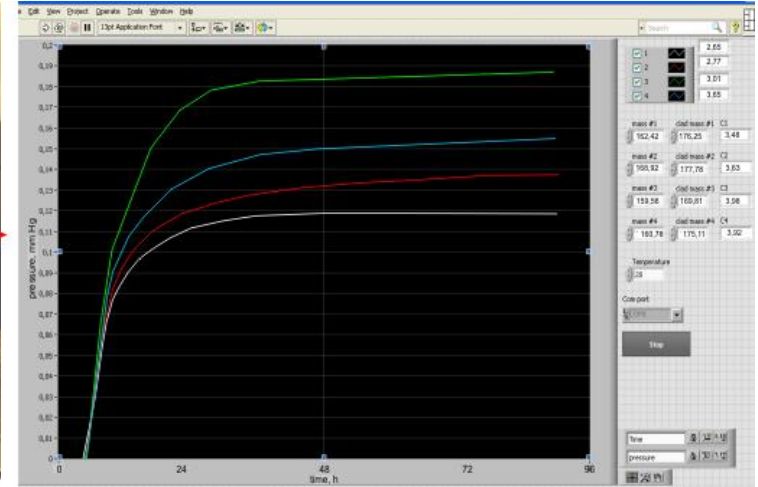
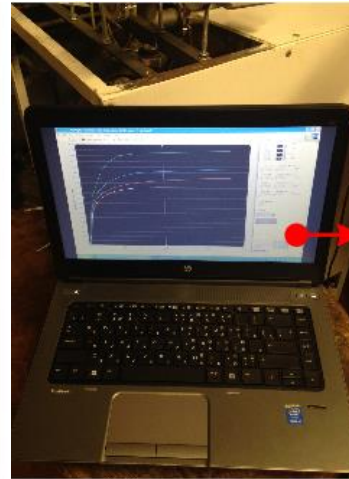


Фото устройства



Интерфейс устройства

На разработки получены свидетельства:

1. Патент ПМ 82036
2. Патент ПМ 115888

Устройство имеет систему обмена данными с компьютером, при помощи которой можно осуществлять управление и производить вывод результатов измерения, а также по начальным результатам выделения водорода прогнозировать окончательный результат измерений.



Гармонизация стандарта ISO 3690

Welding and allied processes — Determination of hydrogen content in arc
weld metal

Подана заявка в ТК-364 «Сварка и родственные процессы».

Стандарт внесен в план на 2015 год.

Новый стандарт будет рассматриваться как модифицированный по отношению к оригиналу.

ISO 3690 состоит из двух основных частей:

1. Методика изготовления образца. Переведена на русский практически без изменений, так как идентична действующему стандарту ГОСТ 23338 «Сварка металлов. Методы определения содержания диффузионного водорода в металле и металле шва».
2. Методика измерений. Переведена, в нее введена вакуумная методика определения содержания водорода.



Заключение

1. Определение содержания водорода позволяет снизить риск возникновения трещин в сварных соединениях.
2. Разработан математический аппарат для ускорения определения содержания водорода. Аппарат отличается тем, что для определения общего конечного содержания водорода в металле используются результаты экспериментального определения водорода за начальный промежуток времени. Это позволяет сократить время определения содержания водорода в несколько раз.
3. Разработано устройство для определения содержания водорода в наплавленном металле. Устройство имеет систему обмена данными с компьютером, при помощи которой можно осуществлять управление и производить вывод результатов измерения, а также по начальным результатам выделения водорода прогнозировать окончательный результат.



СПАСИБО!