

1247/2-79



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

С345Р
Г-907

2/11-79

13 - 12058

У.Грунер, А.В.Мажулин, Х.Эдельман, П.Энгельман

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ
НА ГАЗОТДЕЛЕНИЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

1979

13 - 12058

У.Грунер*, А.В.Мажулин, Х.Эдельман,* П.Энгельман *

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ
НА ГАЗООТДЕЛЕНИЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ



*Технический университет, Дрезден, ГДР.

Грунер У. и др.

13 - 12058

Влияние обработки поверхности на газоотделение нержавеющей стали

Исследуются характеристики газоотделения стали марки X18H10T в вакууме в зависимости от технологии очистки поверхности и температуры нагрева испытываемых образцов. Целью работы является получение количественных характеристик газоотделения стали, предназначенной для изготовления камеры адгезатора коллективного ускорителя, а также вакуумных систем и узлов, подвергающихся обезгаживанию путем нагрева в вакууме. Кратко рассмотрены теоретические вопросы десорбции и диффузии газов. Измерялись газовые потоки десорбции и диффузии при нагревании испытываемых образцов стали после обработки поверхностей различными методами. Получены температурные и временные зависимости коэффициентов газоотделения для окисленных и неокисленных поверхностей стали в интервале температур 150-750°C. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что до температуры 600°C общее количество газа, выделенного окисленным образцом, примерно в 5 раз меньше, чем неокисленным. При напуске воздуха окисленный образец по сравнению с неокисленным поглощает меньше газа.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Gruner U. et al.

13 - 12058

The Influence of Surface Machining on Stainless Steel Outgassing

Characteristics of outgassing in vacuum of X18H10T steel depending on the technology of purification of surface and heating temperature of tested sample are investigated. The aim of this work is to obtain quantitative characteristics of steel outgassing intended for manufacturing the adhesator chamber of collective accelerator and also for vacuum systems and assemblies that are exposed to degassing by heating in vacuum. Theoretical problems of gas desorption and diffusion are briefly considered. Gas fluxes of desorption and diffusion produced under heating of tested steel samples after machining of their surface with different methods were measured. Temperature and time dependences of outgassing coefficients for oxidized and nonoxidized steel surfaces in 150-170° temperature interval are obtained. The results allow one to draw a conclusion that up to the 600° temperature general quantity of evolved from the oxidized sample gas is approximately 5 times less than exuded from normal one. At letting in air an oxidized sample absorbs less gas in comparison with a nonoxidized one.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Остаточное давление в рабочей камере вакуумной установки определяется потоком газа, проникающего в рабочую камеру (I_{II}), и эффективной скоростью откачки ($S_{эфф}$)

$$p_0 = p(t = \infty) = I_{II} / S_{эфф} \quad /1/$$

Во многих практических случаях /например, при исследовании поверхностей или в ускорителях частиц/ необходимо обеспечить давление ниже 10^{-9} Тор. Поскольку безграничное увеличение скорости откачки $S_{эфф}$ невозможно, надо уменьшить поток газа в камеру I_{II} . Этот поток складывается из потока газа, проходящего через течи I_T , и газового потока, идущего от поверхности, в который входят: поток десорбированного газа I_D , поток выделяемого газа I_B , поток проникающего газа $I_{пр}$. Таким образом, I_{II} определяется по формуле

$$I_{II} = I_T + I_D + I_B + I_{пр} \quad /2/$$

Устранением течей можно снизить поток через течи I_T , а выбором подходящего материала уменьшить поток проникающего газа $I_{пр}$ так, чтобы эти потоки стали малыми в сравнении с двумя оставшимися. Тогда требование малого газового притока сводится к тому, чтобы добиться как можно меньших значений десорбции и выделения газа. Эти два потока обусловлены соответственно газом, адсорбированным на поверхности, и газом, находящимся в объеме твердого тела. Первый поток,

таким образом, определяется поверхностной плотностью адсорбированных частиц и прочностью их связи с поверхностью, а второй - содержанием и скоростью диффузии газа в твердом теле, а также прочностью связи этого газа с поверхностью.

В предлагаемой работе рассматриваются характеристики нержавеющей стали /X18NiOT/ относительно выделения газа, адсорбции и десорбции. Исследования служили разработке камеры адгезатора коллективного ускорителя, которая выполнена из указанной стали и не может подвергаться прогреву в вакууме с целью уменьшения газоотдачи^{/1/}. Так как в ускорителях частиц рассеянные на стенки высокоэнергетические частицы /электроны и ионы/ могут существенно увеличить поток газоотдачи стенки, рабочее давление газа в таком ускорителе сильно зависит от газоотдачи материала, из которого состоит камера адгезатора*. Цель нашей работы - получить информацию о влиянии изменений поверхности и предварительной обработки материала на газовыделение и характеристики адсорбции и десорбции материала реципиента. При этом мы искали способы снижения газоотдачи без прогрева в вакууме. Только этим путем можно в указанном коллективном ускорителе, камеру которого нельзя прогреть в вакууме, создать и поддерживать при эксплуатации сверхвысокий вакуум при условии ограниченной эффективной скорости откачки непосредственно камеры адгезатора.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ОБРАЗЦОВ

Исходным материалом являлся толстый лист нержавеющей стали X18NiOT, которая использовалась при создании вакуумной установки коллективного ускорителя.

* Большое значение, которое имеет газоотдача при разработке ускорителей частиц, можно, между прочим, оценить по тому, что с такими разработками всегда связаны обширные исследования свойств материалов и поверхностей /ср., например, Фишер и др.^{/2/}, Дегра и др.^{/3/}/.

Методом спектрометрии оже-электронов можно было обнаружить сильное загрязнение его поверхности. Главными химическими элементами в этом поверхностном слое являлись C и O₂, а металлические компоненты стали /Fe, Cr, Ni, Ti/ в спектре оже-электронов отсутствовали /рис. 1/. Загрязнения удалялись полировкой при помощи окиси алюминия или карбида кремния. После чего в спектре оже-электронов появились пики металлических компонентов /рис. 2/. Влияние разных способов обработки на химический состав поверхности можно проследить по

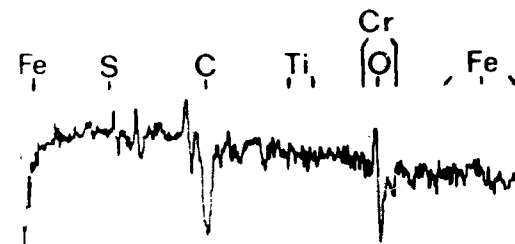


Рис. 1

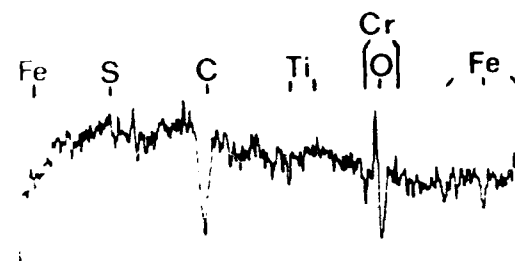


Рис. 2

спектрам оже-электронов /рис. 3а, б, в/. Затем поверхность материала очищалась методом механической полировки при помощи Al₂O₃, и измерения спектров показали, что главными компонентами поверхностного слоя оказались Fe, Cr и O₂/кислород, вероятно, представлен в виде окисей/. В результате последующего отжига на

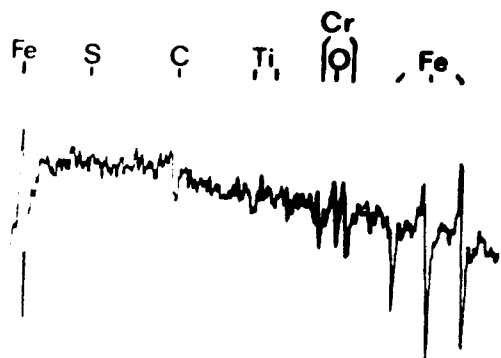


Рис. 3а

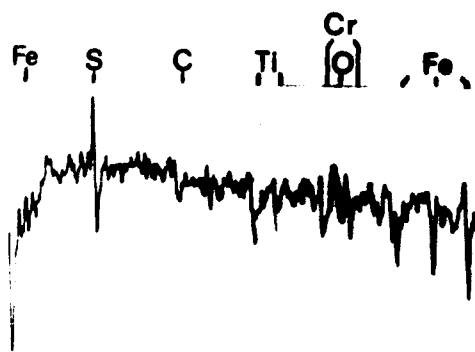


Рис. 3б

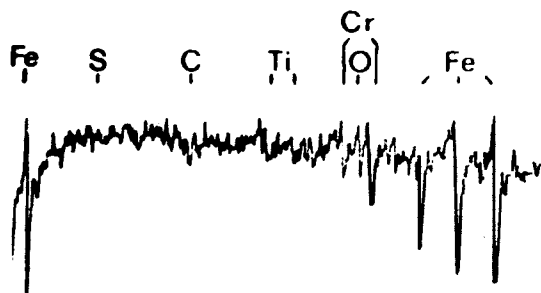


Рис. 3в

поверхности выделились S и Ti /рис. 3б/. Причиной этого является диффузионный процесс. Бомбардировкой ионами оба элемента устранялись /рис. 3в/. Для изучения процесса газотдачи необходимо было прокаткой довести

толщину материала до 0,125 мм. После этой операции поверхность образцов потемнела и стала матовой. Шлифованием при помощи Al_2O_3 толщина поверхностного слоя была доведена до 5 мкм. Съёмки на растровом электронном микроскопе показали, что этот слой имел глыбообразный характер и перпендикулярно к направлению прокатки в нем образовались многочисленные трещины. Поверхностный слой перед экспериментом был снят в результате следующих операций:

1. Очистки образца от масла примерно 20-минутным взбалтыванием в маслоочищающем растворе.

2. Травления образца смесью кислот /50 мл 65%-ной HNO_3 , 112 мл H_2O , 6 мл 40%-ной HF / в течение 170 мин.

3. Полоскания в дистиллированной воде.

4. Сушки при температуре до $100^\circ C$.

После такой обработки внешний вид образцов почти не изменился. Исследование поверхностей образцов под растровым электронным микроскопом показало, что они не гладкие, а со множеством углублений, образовавшихся при травлении. Загрязнения поверхности, однако, были устранены.

3. ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ

ГАЗОТДАЧИ

После предварительной химической обработки образцы были нарезаны в виде лент шириной 2,5 мм и длиной 54 мм и приварены к молибденовым проволокам диаметром 2 мм. К центру образца была приварена спайка термопары. После такого монтажа образцы были вмонтированы в рабочие камеры. Установки откачивались, и рабочие камеры прогревались при температуре $450^\circ C$ в течение 75 мин. В результате откачки давление в них достигло 10^{-6} Тор. Затем откачка была прекращена, образцы выдерживались в вакууме 72 ч при давлении 0,1 Тор. Вслед за этим один из образцов /обозначен номером 2/ окислялся в течение 10 мин при температурах 170° и $645^\circ C$ при парциальном давлении кислорода 150 Тор, вследствие чего образец №2

покрылся окисным слоем. Откачав кислород, установку заполнили воздухом, а потом снова откачали обе рабочие камеры до давления $0,1 \text{ Тор}$. При этом давлении установка простояла 96 ч, после чего начались измерения газовой выделения образцов. В процессе откачки и 4-часового прогрева при 450°C давление уменьшилось до $10^{-6} - 10^{-7} \text{ Тор}$. В результате прогрева снизилась газоотдача стенок рабочих камер. Поскольку площадь поверхности образца была намного меньше площади стенки камеры, пришлось увеличить температуру образцов, чтобы их газоотдача стала более заметной. Изменения температурного режима камер показаны на рис. 4. При температурах

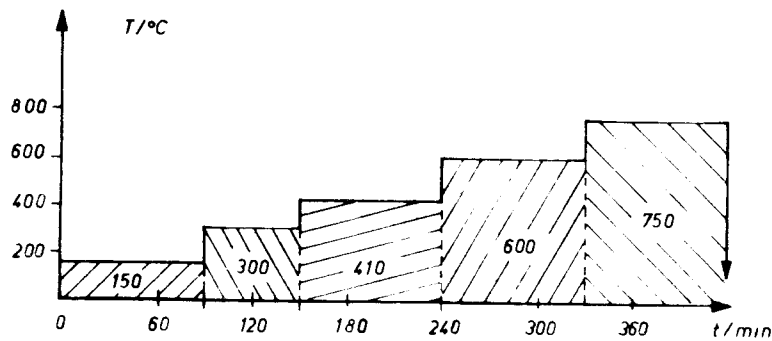


Рис. 4

150° , 300° , 410° , 600° и 750°C измерялись скорости газоотдачи в зависимости от времени как у чистого /№1/, так и у окисленного образца /№2/. Измерения повторялись после 48-дневной выдержки установки при давлении $0,1 \text{ Тор}$. Результаты измерений приведены на рис. 8 и 9. Кривые показывают зависимость скоростей удельной газоотдачи $\dot{q} = \dot{Q}/A$ от времени. В качестве площади поверхности образца A принималось эффективное значение $2,3 \text{ см}^2$, так как краевые зоны холоднее центра образца. На рис. 5 и 6 сплошными кривыми показаны результаты первого эксперимента, а пунктирными - повторного эксперимента.

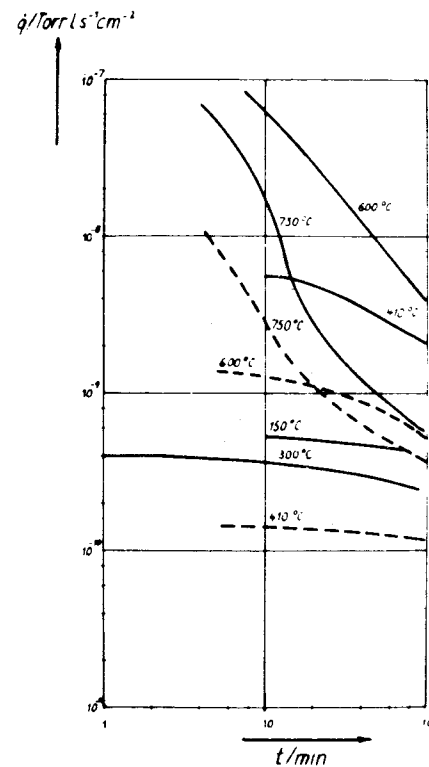


Рис. 5

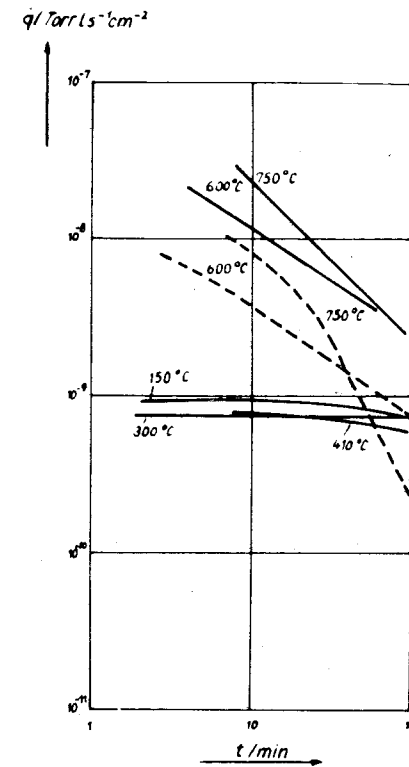


Рис. 6

Результаты первого эксперимента.

1. У чистого /неокисленного/ образца при температурах 150° и 300°C \dot{q} уменьшается со временем по экспоненциальному закону. Это хорошо видно на полулогарифмической диаграмме. Такая зависимость может быть истолкована как десорбция газа от поверхности.

При 410°C скорость удельной газоотдачи существенно выше. Это увеличение мы относим за счет диффузии из объема образца. Повышение температуры до 600°C ведет к дальнейшему увеличению скорости удельной газоотдачи. При 750°C кривая скорости удельной газоотдачи расположена ниже кривой, полученной раньше при 600°C . Это указывает на обеднение материала газом.

2. У окисленного образца наблюдается при температурах до 410°C слабое уменьшение \dot{q} со временем по экспоненциальному закону. Абсолютные величины \dot{q} выше в сравнении со случаем неокисленного образца, так как окисный слой, очевидно, адсорбировал большее количество газа, чем чистая поверхность. Но окисный слой действует как диффузионный барьер, который до температуры 410°C препятствует выделению газа путем диффузии из объема образца /ср. рис. 6, 7. /. Кривые, показывающие зависимость $\dot{q}(t)$, снятые при 600° и 750°C , лежат в области более высоких значений \dot{q} , чем кривые, снятые при 410°C и ниже. Можно предположить, что лишь при этих температурах преодолевается или разрушается диффузионный барьер. Материал еще не успел обеднеть газом в такой степени, как в случае неокисленного образца /кривая $\dot{q}(t)$ при 750°C проходит над кривой при 600°C ./

Общее количество выделенного образцом газа вычисляется по формуле

$$q = \int_0^t \dot{q}(y) dt. \quad /3/$$

Графическое интегрирование полученных кривых показывает, что окисленный образец до температуры 600°C выделяет лишь 20% газа, выделяемого неокисленным образцом.

Повторение эксперимента после 48-дневной выдержки образцов в форвакууме /0,1 Тор/ дало следующие результаты /пунктирные кривые/.

1. Зависимости $\dot{q}(t)$ для неокисленного образца лежат больше чем на порядок ниже зависимостей, полученных в предыдущих экспериментах, что указывает на обеднение материала газом. Газоотдача при температурах 410°C находится за пределом чувствительности принятого метода измерения.

Для окисленного образца получены похожие результаты, однако здесь разница между результатами разных экспериментов не так велика. Кривые $\dot{q}(t)$ при температурах до 410°C находятся за пределом чувствительности метода измерения.

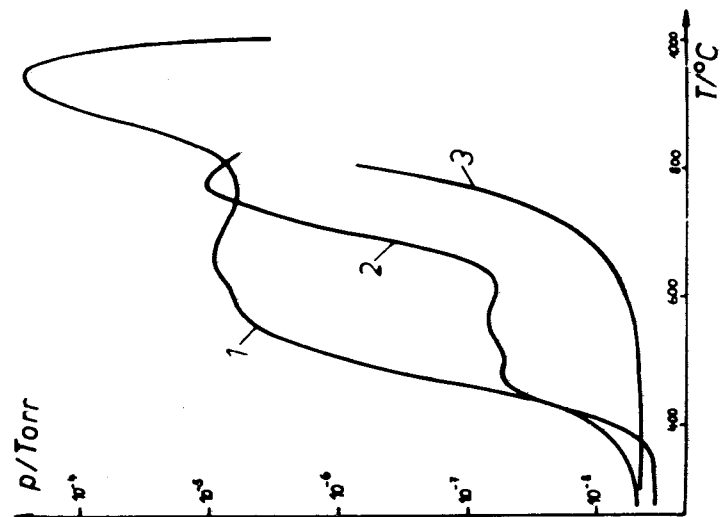


Рис. 8

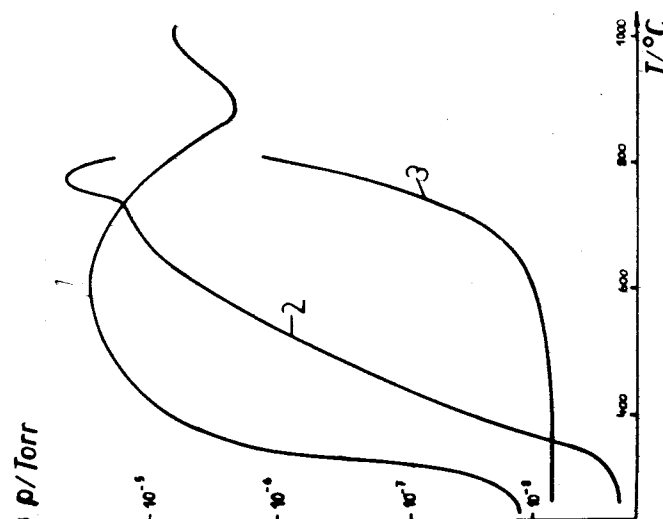


Рис. 7

2. При достаточной продолжительности эксперимента и температурах выше 600° С зависимости $\dot{q}(t)$ во всех случаях приближаются к закономерности

$$\dot{q} = Ct^{-n}, \quad /4/$$

причем повторный эксперимент дал /с одним исключением/ меньшие значения n , чем предыдущий. В следующей табл. 1 приведены полученные значения n .

Таблица 1

Значения показателя n уравнения /4/

Эксперимент	T (°C)	Неокисленный образец	Окисленный образец
1	600	1,2	0,6
2	600	0,6	0,5
1	750	0,9	0,9
2	750	0,6	2,0*

4. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ГАЗООТДАЧИ

С целью определения температурной зависимости скорости газоотдачи мы повышали температуру образца пропорционально времени:

* При большей продолжительности эксперимента, вероятно, и в этом случае следовало ожидать менее крутого спада. Возможно, это объясняется тем, что окисный слой разлагается.

$$T = T_0 + \beta t,$$

/5/

где T - температура образца в момент t , T_0 - температура образца в момент $t = 0$, β - коэффициент возрастания температуры, в данных экспериментах $\beta = 0,65$ К/с, t - время.

Рабочая камера откачивалась через вентиль №1 с пропускной способностью $L = 0,071$ л/с. /Пропускная способность приблизительно равняется эффективной скорости откачки/. Зависимости скорости газоотдачи от температуры образца приведены на рис. 7 для неокисленного, а на рис. 8 для окисленного образца. /Отложенные по оси ординат величины давления пропорциональны скорости газоотдачи/. Кривая 1 получена непосредственно после вышеописанной предварительной обработки образцов. Потом образцы выдерживались в течение 24 часов на воздухе. Вслед за этим эксперимент был повторен дважды, в результате чего были получены кривые 2 и 3.

Кривая 1 на рис. 7 проходит через максимум давления при 600° и 1000° С, что обусловлено десорбцией адсорбированных частиц. Согласно теории термической десорбционной спектрометрии Редхэда /11/ температурам, соответствующим максимумам скорости десорбции /или максимум давления/, можно приписать энергии десорбции. Учитывая уравнение /5/ и известное условие экстремальных значений, получаем в случае десорбции первого порядка:

$$\frac{W}{RT_{II}} = \ln \frac{T_{II}}{\beta \tau_0} - \ln \frac{W}{RT_{II}}, \quad /6/$$

где T_{II} - температура пика, R - газовая постоянная.

Кривая 2 на рис. 7 проходит через максимумы при 600° и 770° С, а кривая 3 не имеет максимума. Это подтверждает предположение о том, что максимумы кривых 1 и 2 обусловлены десорбцией газа. Кривая 3 снималась непосредственно после кривой 2. Между этими двумя измерениями было так мало времени, что образец не успел адсорбировать газ. В случае окисленного образца первые две кривые тоже имеют четкие максимумы, а кривая 3 не имеет максимума, зато при более высоких температурах в ее ходе наблюдается резкий подъем, ко-

2. При достаточной продолжительности эксперимента и температурах выше 600° С зависимости $\dot{q}(t)$ во всех случаях приближаются к закономерности

$$\dot{q} = Ct^{-n}, \quad /4/$$

причем повторный эксперимент дал /с одним исключением/ меньшие значения n , чем предыдущий. В следующей табл. 1 приведены полученные значения n .

Таблица 1

Значения показателя n уравнения /4/

Эксперимент	T (°C)	Неокисленный образец	Окисленный образец
1	600	1,2	0,6
2	600	0,6	0,5
1	750	0,9	0,9
2	750	0,6	2,0*

4. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ГАЗООТДАЧИ

С целью определения температурной зависимости скорости газотдачи мы повышали температуру образца пропорционально времени:

* При большей продолжительности эксперимента, вероятно, и в этом случае следовало ожидать менее крутого спада. Возможно, это объясняется тем, что окисный слой разлагается.

$$T = T_0 + \beta t, \quad /5/$$

где T - температура образца в момент t , T_0 - температура образца в момент $t = 0$, β - коэффициент возрастания температуры, в данных экспериментах $\beta = 0,65$ К/с, t - время.

Рабочая камера откачивалась через вентиль №1 с пропускной способностью $L = 0,071$ л/с. /Пропускная способность приблизительно равняется эффективной скорости откачки/. Зависимости скорости газотдачи от температуры образца приведены на рис. 7 для неокисленного, а на рис. 8 для окисленного образца. /Отложенные по оси ординат величины давления пропорциональны скорости газотдачи/. Кривая 1 получена непосредственно после вышеописанной предварительной обработки образцов. Потом образцы выдерживались в течение 24 часов на воздухе. Вслед за этим эксперимент был повторен дважды, в результате чего были получены кривые 2 и 3.

Кривая 1 на рис. 7 проходит через максимум давления при 600° и 1000° С, что обусловлено десорбцией адсорбированных частиц. Согласно теории термической десорбционной спектрометрии Редхэда^{/11/} температурам, соответствующим максимумам скорости десорбции /или максимум давления/, можно приписать энергии десорбции. Учитывая уравнение /5/ и известное условие экстремальных значений, получаем в случае десорбции первого порядка:

$$\frac{W_d}{RT_{II}} = \ln \frac{T_{II}}{\beta \tau_0} - \ln \frac{W_d}{RT_{II}}, \quad /6/$$

где T_{II} - температура пика, R - газовая постоянная.

Кривая 2 на рис. 7 проходит через максимумы при 600° и 770° С, а кривая 3 не имеет максимума. Это подтверждает предположение о том, что максимумы кривых 1 и 2 обусловлены десорбцией газа. Кривая 3 снималась непосредственно после кривой 2. Между этими двумя измерениями было так мало времени, что образец не успел адсорбировать газ. В случае окисленного образца первые две кривые тоже имеют четкие максимумы, а кривая 3 не имеет максимума, зато при более высоких температурах в ее ходе наблюдается резкий подъем, ко-

торый объясняется диффузией газа из объема образца. У окисленного образца, очевидно, больше связанных состояний, чем у неокисленного образца. Четко выделяются три максимума.

Если предположить, что мы, действительно, имеем дело с десорбцией первого порядка, то энергию десорбции приближенно можно вычислить. /Для точного расчета пришлось бы повторить эксперименты с другими коэффициентами возрастания температуры и другими скоростями откачки. При этом τ_0 принимается равным 10^{-13} с. Это значение часто встречается в экспериментах по десорбции. Оно справедливо в том случае, когда адсорбированные частицы подобно двумерному газу свободно могут перемещаться по поверхности твердого тела. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

		Кривая	Температура пика T_{II} (°C)	Энергия десорбции W_D (эВ)	W_D (ккал/моль)
неокисленный образец	I		600	2,5	58
	I		1000	3,7	86
	2		600	2,5	58
	2		770	3,0	70
окисленный образец	I		575	2,45	57
	I		660	2,7	62
	I		925	3,5	81
	2		465	2,1	49
	2		560	2,4	56
	2		765	3,0	69

Окисление образца увеличивает энергетический спектр десорбции. Поскольку τ_0 неизвестно и пиковые температуры неточны, не следует ожидать от значений W_D слишком большой точности.

Если кривые $\dot{q}(t)$, приведенные на рис. 8 для $T = 150^\circ C$ и $T = 300^\circ C$ и на рис. 6 для $T = 150^\circ C$, $T = 300^\circ C$ и $T = 410^\circ C$, изобразить на полулогарифмической диаграмме, то по наклонам получаемых прямых тоже можно определить W_D . Из формулы

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\log \dot{q}_1 / \dot{q}_2} \log e ,$$

/7/

$$\dot{q}_1 = \dot{q}(t_1), \quad \dot{q}_2 = \dot{q}(t_2),$$

следует /если предположить десорбцию первого порядка и принять $\tau_0 = 10^{-13}$ с/

$$W_D = \frac{\log \tau / \tau_0}{\log e} RT,$$

/8/

где R - газовая постоянная, T - абсолютная температура образца.

Результаты расчета приведены в табл. 3.

Если предположить, что значение $W_D = 34$ ккал/моль /табл. 3/ обусловлено десорбцией газа от стекла, то энергиям десорбции окисленного образца будут соответствовать значения $W_D = 47$ ккал/моль и $W_D = 54$ ккал/моль. У неокисленного образца в первом эксперименте /рис. 7, кривая 1/ наблюдался при $600^\circ C$ очень широкий десорбционный пик. Надо полагать, что этот пик сложился из нескольких пиков более или менее высоких энергий десорбции, поэтому 46 ккал/моль может быть значением одной энергии десорбции неокисленного образца.

Кривые 3 на рис. 7 и 8 не имеют максимумов, зато круто поднимаются при высоких температурах, что объясняется процессами диффузии газа из объема металла.

Таблица 3

	Температура образца		W_d (ккал/моль)
	T (°C)	T (K)	
неокисленный образец	150	423	34
	300	573	43
окисленный образец	150	423	34
	300	573	47
	410	683	54

Если для зависимости плотности диффузионного потока от температуры принимаем формулу

$$\dot{q} = \dot{q}_0 e^{-\frac{W_a}{RT}}, \quad /9/$$

где W_a - энергия возбуждения диффузии, \dot{q}_0 - постоянная, то получаем $W_a \approx 2,55 \text{ эВ} \approx 59 \text{ ккал/моль}$.

Поскольку это значение определялось для смеси газов неизвестного состава путем измерения полного давления, его нельзя непосредственно сравнить с данными для чистых газов. По кривым на рис. 7 и 8 видно, что при температурах выше 700°C значения диффузионного потока становятся близкими. Это, может быть, объясняется разрушением окисного слоя при высоких температурах /10/.

5. ВЫВОДЫ

В предлагаемой работе были исследованы свойства поверхности и скорость газоотдачи высоколегированной нержавеющей хромоникелевой стали /X18H10T/ в зависимости от различных форм предварительной обработки.

Измерения методом оже-спектроскопии показывают, что необработанная поверхность стали сильно загрязнена, причем главные компоненты загрязнений - углерод и кислород. Путем механической полировки при помощи Al_2O_3 или SiC удается их большей частью удалить. На поверхности при этом появляются царапины. Удаление слоев загрязнений можно осуществить обезжириванием и химическим травлением. В этом случае на поверхности образуются ямки травления. При нагревании стали к поверхности диффундируют сера и титан, которые легко удаляются методом ионной бомбардировки.

Сопоставление скоростей газоотдачи обработанного /химически травленного/ образца и дополнительно окисленного образца показывает:

1. До температуры 600°C общее количество выделенного газа у окисленного образца примерно в 5 раз меньше, чем у неокисленного.

2. Поток газа, выделяемый окисленным образцом, является прежде всего десорбционным потоком. У поверхности окисленного образца наблюдается большее число связанных состояний, чем у поверхности неокисленного. При этом наиболее низкие энергии десорбции у обоих образцов - одного и того же порядка, но окисленный образец обладает более высокими значениями энергии десорбции. После выделения газа из слабосвязанных состояний газовый поток от окисленного образца меньше.

3. При напуске воздуха в рабочую камеру окисленный образец по сравнению с неокисленным поглощает меньше газа.

4. При температуре выше 700°C окисный слой разрушается. Окисленный и неокисленный образцы после такого нагрева снова обладают примерно одинаковыми свойствами.

5. В течение достаточно длительного времени скорость газоотдачи уменьшается по закону $q \sim t^{-n}$.

В большинстве случаев /два исключения/ значения n лежат в пределах от 0,5 до 0,6. Согласно работе^{/6/} можно предположить, что газоотдача определяется диффузией.

6. Проведенные нами эксперименты позволяют сделать вывод, что у окисленной стали меньшая величина газоотдачи по сравнению с неокисленной. Окисление можно произвести при атмосферном давлении на воздухе.

В заключение благодарим мастера-стеклодува Ф.Вартемана за точное выполнение всех стеклодувных работ и Й.Кислинга за проведение работ по получению спектров оже-электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мажулин А.В., Антропов В.К. ОИЯИ, Р9-11255, Дубна, 1978.
2. Fischer M.E. et al. CERN-ISR-VA/76-27.
3. Degras D.A. et al. Trans. 8th Vac. Symp., 1961, p.177.
4. Frenkel J.I. Statistische Physik, Akademie-Verlag, Berlin, 1957.
5. Calder R., Lewin G. Brit. J. Appl. Phys., 1967, 18, p.1459-1472.
6. Elsey R. Vacuum, 1975, 25, 7, p.299-306; 8, p.347-361.
7. Dayton B. Trans. 8th Vac. Symp., 1961, 42.
8. Autorenkollektiv unter Leitung von Chr. Edelmann Vakuumphysik und technik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest. u. Portig, Leipzig, 1978.
9. Huffine C.L., Williams J.M. Corrosion, 1960, 16, p.102-104.
10. Young J.R. J. Vac. Sci. Technol., 1969, 6, 3, p.392-400.
11. Redhead P.A. Vacuum, 1962, 12, p.392-400.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1978 года.