

Основы коррозии и защиты металлов



Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,
доцент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия материалов

Традиционное определение:

Коррозия – это самопроизвольное разрушение **конструкционных материалов** при их химическом, электрохимическом и биохимическом взаимодействии с окружающей средой.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия конструкционных материалов

С **коррозией** конструкционных материалов (**разрушением** их под действием окружающей среды) все отрасли техники сталкиваются **повсеместно**:

- Коррозия **металлических** конструкций;
- Коррозия **бетона и железобетона**;
- Коррозия **полимерных** материалов;
- Коррозия **керамических** материалов;
- Коррозия (гниение, поражение



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия материалов

- Часто вместо понятия **коррозия** используют термин: **химическое сопротивление материала в окружающей среде.**

Более **современное** определение коррозии:

- **Коррозия** – самопроизвольный процесс **потери важнейших** (рабочих) **свойств** конструкционного материала вследствие физико-химического взаимодействия с окружающей средой.
- Всего более подвержен коррозии **металл**. Теории коррозии металлов и их защите и посвящен курс **«Основы коррозии и защиты металлов».**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Основы коррозии и защиты металлов

- 18 лекций (36 час)
- 36 часов лабораторного практикума (6 лабораторных работ по 4 часа. (24 часа); 2 коллоквиума (8час); решение задач (4 часа)
- Три домашние контрольные работы.
- Финишная контрольная работа.
- Допуск к экзамену при выполнении всех лабораторных работ, коллоквиумов, задач и контрольных работ.
- Экзамен (два теоретических вопроса и решение задачи).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Рейтинговая оценка знаний

Оценка результатов обучения: 85-100 баллов - 5
75 – 84 балла – 4; 65 – 74 балла - 3

Деятельность	Оценка в баллах	Весовой коэффициент	Максимальное число баллов
Посещение лекций	50% - «3» 75%- «4» 100%-«5»	*3	15
Сдача двух коллоквиумов и решение задач	«3» «4» «5»	*4	20
Лабораторные занятия		*4	20
Выполнение трех контрольных работ		*2	10
Финишная контрольная работа		*1	5
Экзамен		*6	30
		Итого	100



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Литература

Основная литература

1. **Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии: Учеб. пособие / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, В.А. Хорошилов; под ред. И. В. Семеновой. - М., Физматлит, 2002. – 336с, 2006, 376с, 2010, 376с**

Дополнительная

1. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: Учеб. пособие. /Н.П. Жук. - М., Metallurgy, 1976. – 472с.: ил.
2. Улиг, Г.Г., Ревин Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревин; Пер. с англ. А.М. Сухотина и др. - Л., Химия, 1989. – 455с.: ил.
3. Справочник химика. Т.3: Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы. - М.-Л., Химия, 1964.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Литература

Дополнительная

4. Шлугер М.А. Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов: Учеб. пособие. – М.: Metallurgiya, 1981.- 200 с.
5. Госты ЕСЗКС.

Методическая литература

1. Лихачев В. А. Практикум по коррозии металлов [Текст]: учеб. пособие / В. А. Лихачев; ВятГУ, ХФ, каф. ТЭП. - Киров: [б. и.], 2005. - 53 с.
2. Лихачев В. А. Коррозия и защита металлов [Текст]: учеб. пособие / В. А. Лихачев; ВятГУ, ХФ, каф. ТЭП. - Киров: [б. и.], 2010. - 68 с.
3. Лихачев В. А. Коррозия и защита металлов [Текст]: учеб. методич. пособие / В. А. Лихачев; ВятГУ, ХФ, каф. ТЭП. - Киров: [б. и.], 2017. - 98 с.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Периодика

- Журнал «Защита металлов» с 2008 г «Физикохимия поверхности и защита металлов», 6 раз в год.
- Журнал «Практика противокоррозионной защиты». Выпускается с 2009 г. 4 раза в год.
- Журнал «Гальванотехника и обработка поверхности»; 6 раз в год
- Гости ЕСЗКС (единая система защиты от коррозии и старения), см. ежегодник



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Важность изучения курса

Необходимость и важность изучения курса «Основы коррозии и защиты металлов» вызывают 4 основные аспекта:

1. Экономический;
2. Научно-технический;
3. Экологический;
4. Социальный.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Экономический аспект

- Коррозия металлов приносит в любом развитом государстве гигантские экономические потери, которые составляют **от 6% до 12%** национального дохода страны.
- Потери различают на **прямые** и **косвенные**.
- Причем эти потери постоянно растут за счет 2 причин:
 1. Увеличения массы эксплуатируемых конструкционных материалов;
 2. Ужесточения условий коррозии.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Научно-технический аспект

- Зачастую развитие целого ряда направлений в технике часто связано с предварительным решением коррозионных проблем:
- Авиация (начало прошлого века);
- Получение минеральных удобрений (30 годы);
- Атомные реакторы (послевоенные годы),
- Покорение космоса (шестидесятые годы до настоящего времени).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Экологический аспект

- Коррозия приводит к безвозвратным потерям материалов , что в свою очередь вызывает дефицит в рудах, необходимость переработки все более малоконцентрированных руд, усложнению технологии и получению большего количества **отходов** при производстве материалов;
- **Продукты коррозии** в свою очередь загрязняют окружающую среду.
- Загрязнения среды вызываемые **авариями** за счет коррозии.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Социальный аспект

- Обострение международных отношений из-за нехватки сырья;
- Социальная напряженность из-за аварий вызываемых коррозией и загрязнениями окружающей среды.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Типы коррозии

- В системе ЕСЗКС есть очень старый ГОСТ 1968 года, который называется **«Термины коррозии»**.
- Согласно этого ГОСТа коррозия металлов подразделяется на **ТИПЫ** и **ВИДЫ**.
- Согласно ГОСТ различают два типа коррозии металлов:
 1. **Химическая коррозия;**
 2. **Электрохимическая коррозия**



Химическая коррозия

Определение

Химической коррозией называется самопроизвольный процесс разрушения металлов под действием **сухих газов и неэлектролитов**, при котором окисление металла и восстановление окислителя протекают в виде **одной гетерогенной химической реакции**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды химической коррозии

Химическая коррозия

Газовая коррозия

Коррозия в не электролитах

Топочные
газы

Органические
жидкости

Сухой воздух

Нефть и
продукты её перегонки

Газы химической
промышленности



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Термодинамика химической коррозии металлов

Первопричиной химической коррозии металлов является их термодинамическая неустойчивость в различных средах при данных внешних условиях, т.е. возможность **самопроизвольного** перехода металлов в более устойчивое окисленное состояние в результате процесса:

Металл + Окислительный компонент среды =
Продукт коррозии

В реальной практике чаще всего окислителем является кислород и основная реакция химической коррозии это: $2\text{Me} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MeO}$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Термодинамика химической коррозии металлов

Принципиальная возможность или невозможность самопроизвольного протекания химического процесса определяется знаком изменения термодинамического потенциала. В качестве критерия **самопроизвольности** процессов коррозии металлов наиболее удобно пользоваться изобарно-изотермическим потенциалом G^* .



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала

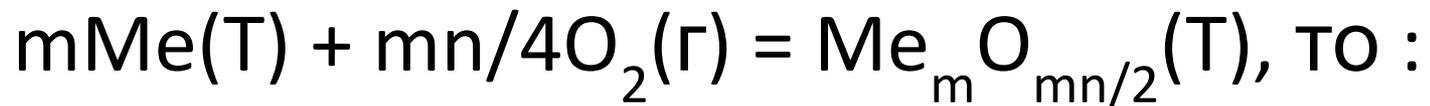
- Если изобарно-изотермический потенциал при протекании какой-либо реакции уменьшается, т.е. $\Delta G < 0$, то реакция протекает самопроизвольно.
- Для реакции $2\text{Me} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MeO}$
 $\Delta G = -RT \ln K$ и может быть теоретически рассчитан.

Величина ΔG зависит от температуры.



Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала

- Для реакции окисления металла O_2 ($P, T = \text{const}$):



$$\Delta G_T = RT2,303 \lg 1/p_{O_2}^{mn/4} - RT3,303 \lg^*$$

$$* 1/(p_{O_2})^{mn/4}_{\text{равн}} = RT2,303 \lg 1/p_{O_2}^{mn/4}$$

$$RT2,303 \lg K_p = RT2,303 \lg 1/p_{O_2}^{mn/4} + \Delta G_T^\circ$$

Измеряя потенциометрическим методом max э.д.с. элемента, определяют ΔG_T реакции :

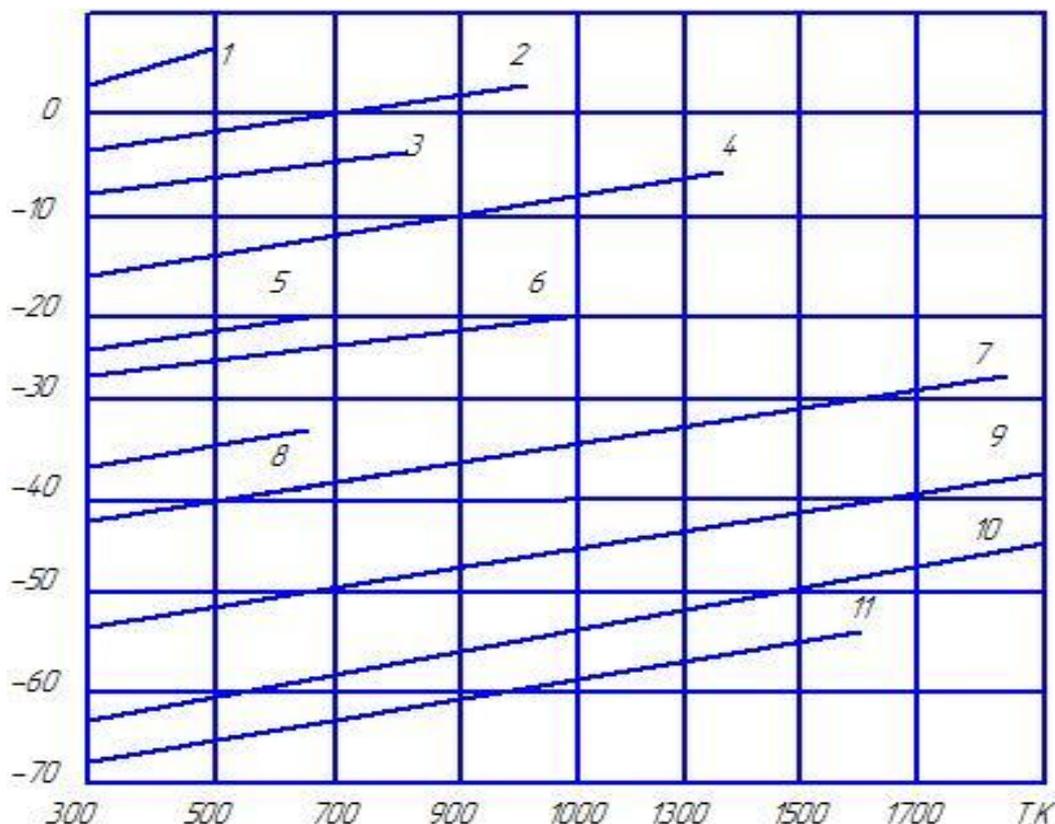
$$\Delta G_T = -FmnE_{\text{max}} = \Delta H_T - FmnT(dE/dT)_p$$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Термодинамика химической коррозии металлов

Влияние температуры на $\Delta G/mn$ образования оксидов металлов:



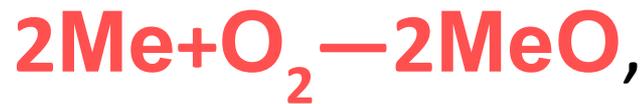
- 1 – Au₂O₃;
- 2 – Ag₂O;
- 3 – PtO;
- 4 – Cu₂O;
- 5 – PbO;
- 6 – MoO₃;
- 7 – Cr₂O₃;
- 8 – ZnO;
- 9 – TiO₂;
- 10 – ZrO₂;
- 11 – BeO.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Термодинамика химической коррозии металлов

- Таким образом согласно термодинамическим оценкам все технические металлы, за исключением золота, должны корродировать под действием кислорода воздуха, при этом на поверхности металла протекает гетерогенная химическая реакция



в результате которой на металле появляются продукты в виде оксидов (и



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- При химической газовой коррозии можно выделить 2 основных этапа :
 - 1 Этап первоначального окисления металла с получением первых слоев оксида;
 - 2 Этап роста оксида
- На 1ом этапе стадийность процесса коррозии следующая:
- 1. диффузия O_2 к поверхности Me
 - 2. адсорбция O_2
 - 3. хемосорбция кислорода на металле
 - 4. образование оксида MeO



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- Все эти стадии протекают быстро, поэтому коррозия на первоначальном этапе идет **быстро** для большинства металлов, а для титана, например, окисление поверхности происходит в доли секунды.
- 1 этап химической коррозии заканчивается быстро и существенного влияния в целом на скорость химической коррозии не оказывает.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- 2-ой этап, этап роста оксида зависит от того какой получается оксид: **сплошной или не сплошной**.
- **Не сплошной** оксид получается в двух случаях:
 1. объем оксида мал, меньше объема корродирующего металла и пленка оксида получается **очень пористая**.

$$1 > V_{\text{ок}} / V_{\text{ме}}$$

2. Объем оксида очень велик и он не может удержаться на поверхности корродирующего металла и постоянно отскакивает и поверхность металла оголяется

$$V_{\text{ок}} / V_{\text{Ме}} > 2,5 \div 3,5$$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

При образовании **пористой пленки**, когда

$$V_{\text{ок}}/V_{\text{Me}} < 1,$$

кислород воздуха легко проникает через поры к поверхности металла, образующаяся пленка не может защитить металл и не оказывает тормозящего влияния на скорость коррозии.

Это характерно при коррозии **щелочных и щелочноземельных металлов** (K, Na, Ca, Mg), в связи с чем они не только эксплуатируются, а даже хранятся на воздухе при любых температурах не могут.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Рост пористой пленки не защищающей металл.

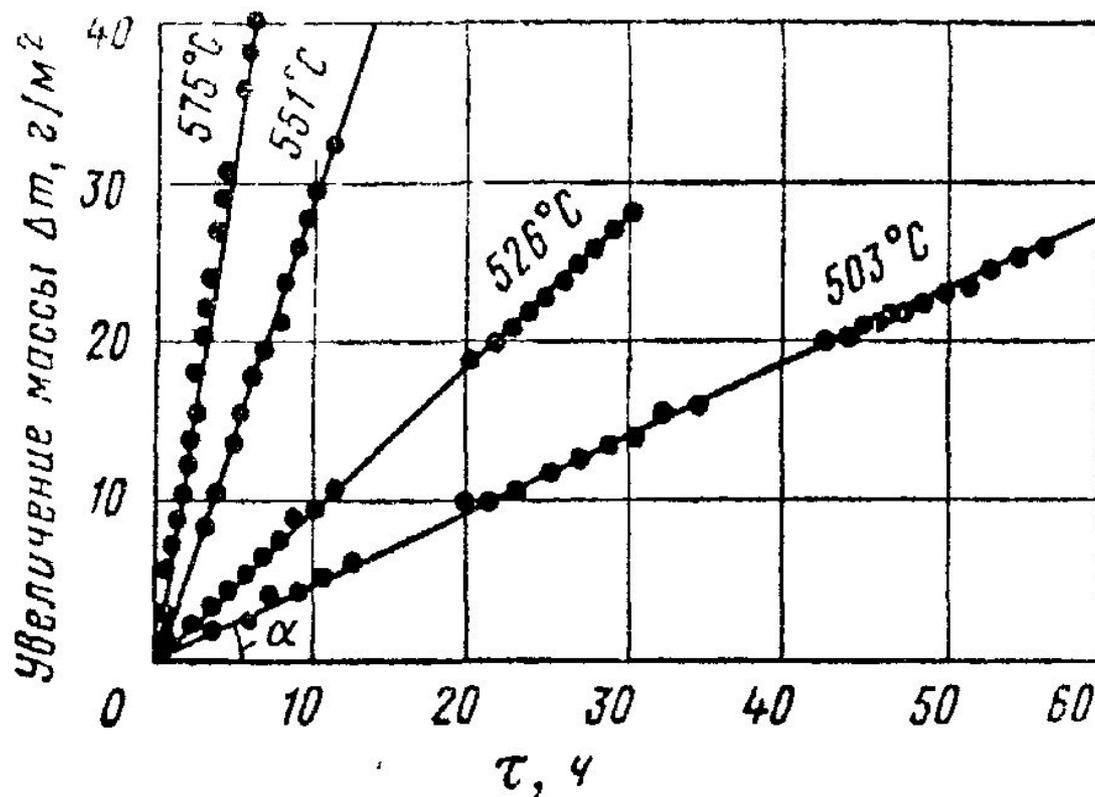
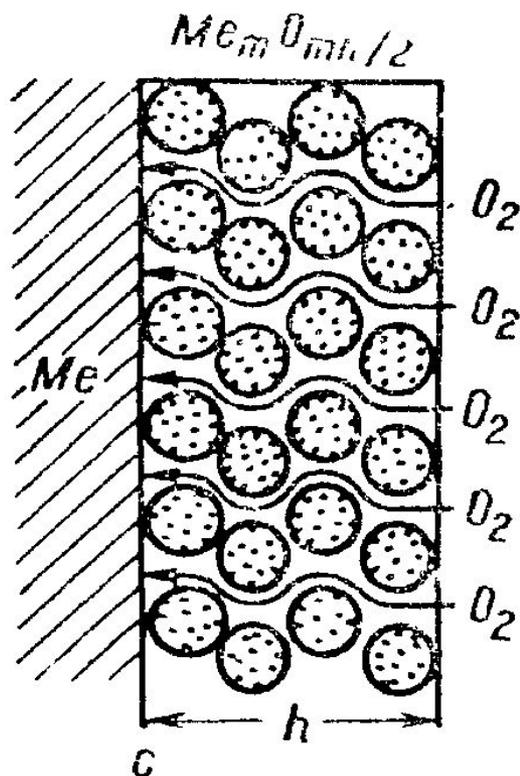


Рис. 22. Схема процесса образования пористой оксидной пленки на металле

Рис. 23. Окисление магния в кислороде при различных температурах (линейный закон роста оксидной пленки)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- **Сплошная** защитная пленка не может получиться также, если $V_{ок}/V_{Me} > 2,5 \div 3,5$. В этом случае в пленке возникают высокие внутренние напряжения, она разрушается и отслаивается от поверхности корродирующего металла (W, Mo, V) (коррозия вольфрама при температурах выше 600°C).



Кинетика химической коррозии

Сплошная защитная пленка образуется, если выполняется условие сплошности:

- $1 < V_{\text{ок}}/V_{\text{Me}} < 2,5 \div 3,5$,

- где $V_{\text{ок}}$ – объем продуктов коррозии,
- V_{Me} – объем корродирующего металла.



Определение сплошности оксида

- Узнать какой получается оксид сплошной или не сплошной можно расчетным путем:
- Для этого нужно определить объем оксида: $V_{\text{ox}} = M_{\text{ox}} / n g_{\text{ox}}$, где, M_{ox} – молекулярная масса оксида, n – количество атомов металла в оксиде; g_{ox} - плотность оксида.
- Далее определить объем металла: $V_{\text{Me}} = A / g_{\text{Me}}$, где, A – атомный вес металла, g_{Me} – плотность металла;
- И, наконец, определить величину отношения $V_{\text{ox}} / V_{\text{me}}$

Оксид	$V_{\text{ox}} / V_{\text{me}}$	Оксид	$V_{\text{ox}} / V_{\text{me}}$	Оксид	$V_{\text{ox}} / V_{\text{me}}$
K_2O	0,48	Al_2O_3	1,31	FeO	1,77
CaO	0,63	Cr_2O_3	2,02	Fe_2O_3	2,14



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Химическая (газовая) коррозия при образовании сплошного оксида

- Таким образом, все **технические металлы** дают **сплошной оксид**, т.е. условие сплошности для них выполняется:

$$1 < V_{\text{ок}} / V_{\text{Me}} < 2,5 \div 3,5 ,$$

- Кинетика коррозии при образовании сплошного оксида кардинально меняется.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- **2-ой этап роста оксида (сплошная пленка)**
- **Стадийность процесса коррозии резко меняется:**
 1. диффузия O_2
 2. адсорбция и хемосорбция кислорода
 3. Ионизация кислорода $O_{адс} + 2e = O^{2-}$
 4. ионизация Me , $Me - 2e = Me^{2+}$
 5. перенос ионов Me^{2+} в слое оксида
 6. перенос электронов в слое оксида
 7. перенос ионов O^{2-} в слое оксида
 8. образование оксида.

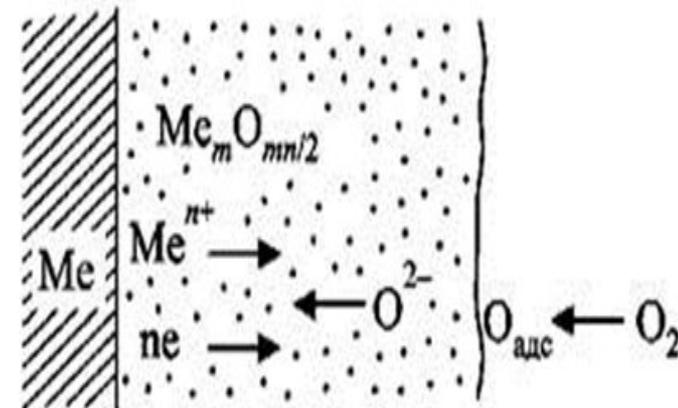


Рис. 1.2. Схема процесса образования оксидной пленки на металле



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

Из перечисленных стадий наиболее замедленными являются:

- **Перенос** ионов металла Me^{2+} в слое оксида (5);
- **Перенос** ионов кислорода O^{2-} в слое оксида (7)

Причем эти две стадии идут параллельно и важно знать какие ионы движутся быстрее.

А более быстро будут двигаться более маленькие по размеру ионы, сл-но нужно знать размер ионов кислорода и металла



Размеры ионов и молекул

O	O ⁻²	Fe	Fe ⁺²	Fe ⁺³	Al	Al ⁺³	Ni ⁺²	Cr ⁺³	Cr ⁺⁶
0,060 нм	0,140	0,126	0,075	0,067	0,143	0,050	0,078	0,065	0,052

Таким образом, более быстро движутся ионы металла

Ионы в оксиде движутся за счет двух сил:

- 1. Электростатического поля** и такое движение называется миграция;
- 2. Градиента концентраций** – диффузия.

И миграция и диффузия ионов идет по дислокациям, поэтому скорость движения ионов, а, следовательно, и скорость коррозии зависят от **упорядоченности, плотности** получающегося оксида.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- **Упорядоченность, плотность оксида**

зависит от 3-х факторов::

1. температуры;
2. состава коррозионной среды;
3. природы металла.



Кинетика химической коррозии



- При низких температурах ($< 180 - 300^\circ\text{C}$) скорость основной реакции (1) еще не очень высока, при образовании кристаллографической решетки оксида, ионы металла и кислорода успевают встать в узлы решетки оксида и оксид получается **плотный, упорядоченный**. В нем диффузия ионов Me^{2+} и O^{2-} затруднена, движение идет за счет **миграции**. Как показывает опыт, оксид в таком случае растет по логарифмическому закону:

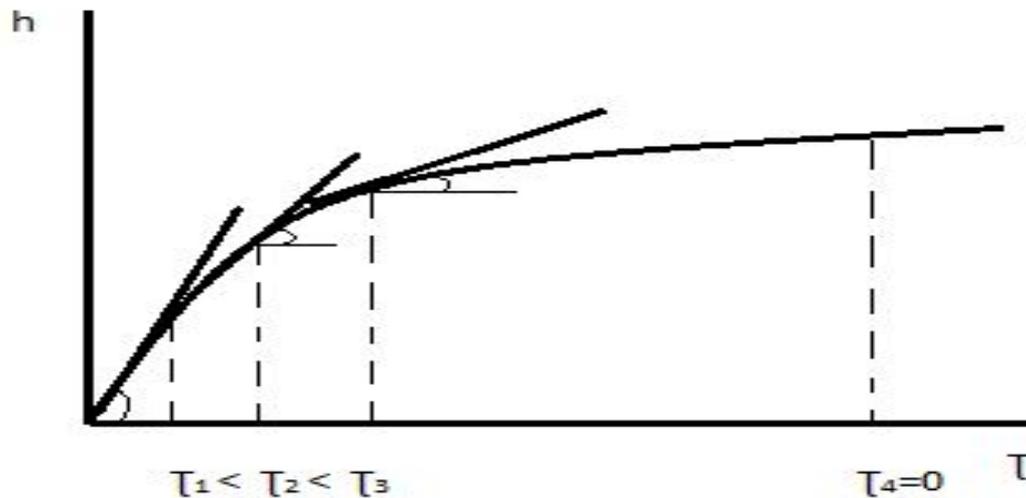
- $h = k \lg (\tau + b)$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Логарифмический закон роста оксидной пленки

$$h = k \lg (\tau + b)$$



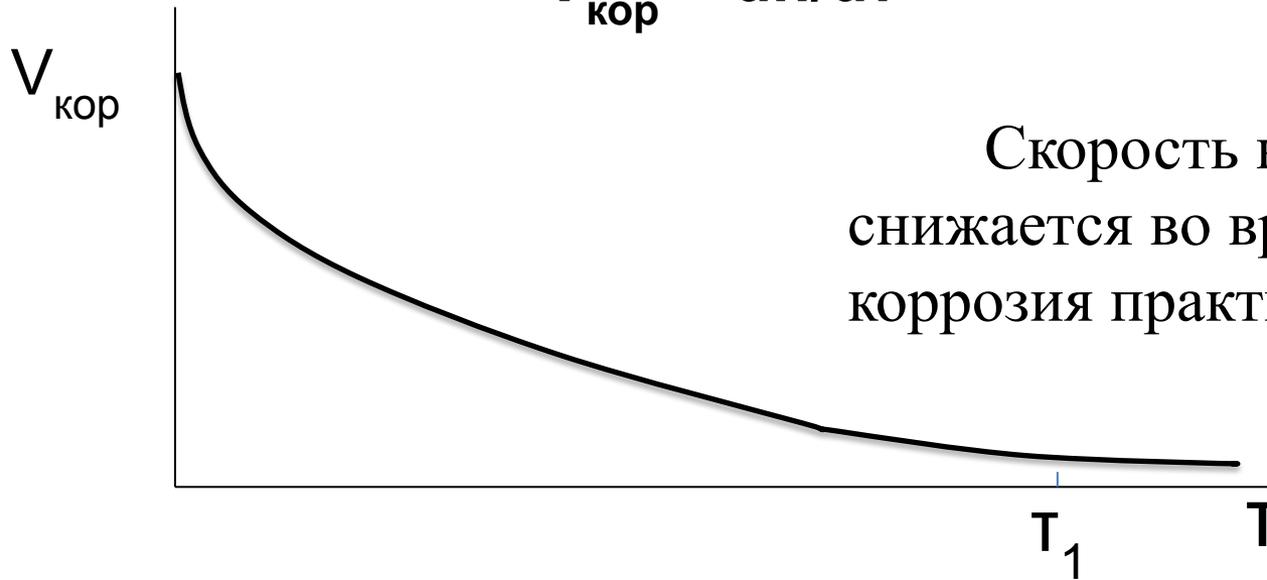
Сначала оксид MeO растет быстро, а затем рост оксида затрудняется, так как появляются все новые слои оксида, толщина его растет и перенос ионов в пленке оксида затрудняется.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Изменение скорости коррозии во времени при низких температурах

$$V_{\text{кор}} = dh/dt$$



Скорость коррозии резко снижается во времени и после τ_1 коррозия практически прекращается.

Таким образом, химическая коррозия в сухих газах при низких температурах **неопасна**, металл сам себя защищает за счет образования упорядоченного **плотного оксида**.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

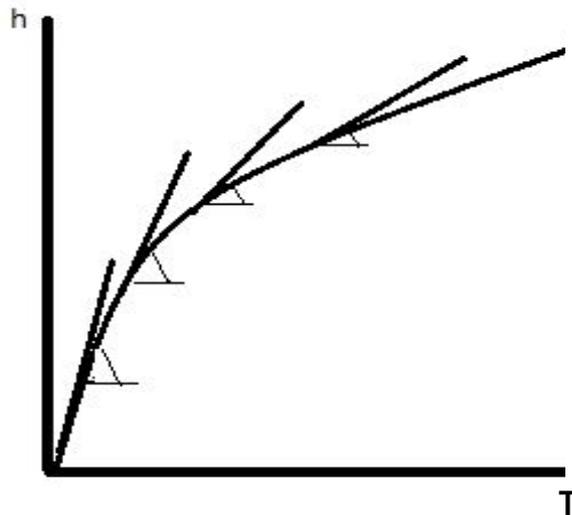
При температуре больше 300°C скорость реакции (1) увеличивается, ионы не успевают встать в узлы решетки, оксид получается неупорядоченный. Высокотемпературный неупорядоченный оксид называется – **окалина**. В таком оксиде с большим количеством дефектов облегчается диффузия. Рост оксида идет по параболическому закону:

$$h^2 = kt.$$

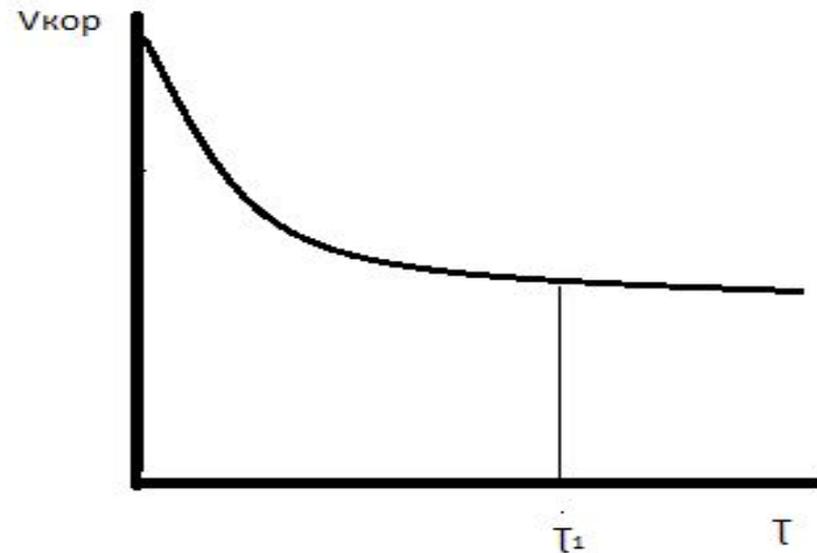


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии



Параболический закон
роста оксидной пленки



Изменение скорости коррозии
при параболическом законе
роста оксидной пленки.

При параболическом законе роста оксидной пленки металл необходимо защищать



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- Для каждого металла существует своя температура перехода к параболическому закону – температура **окалинообразования**. Поэтому температура окалинообразования является характеристикой **жаростойкости** металла.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

- Переход от логарифмического закона к параболическому не идет скачком. В некотором интервале температур оксид растет по степенному закону:

$$h^n = kt,$$

Где, n – числа от 3 до 9.

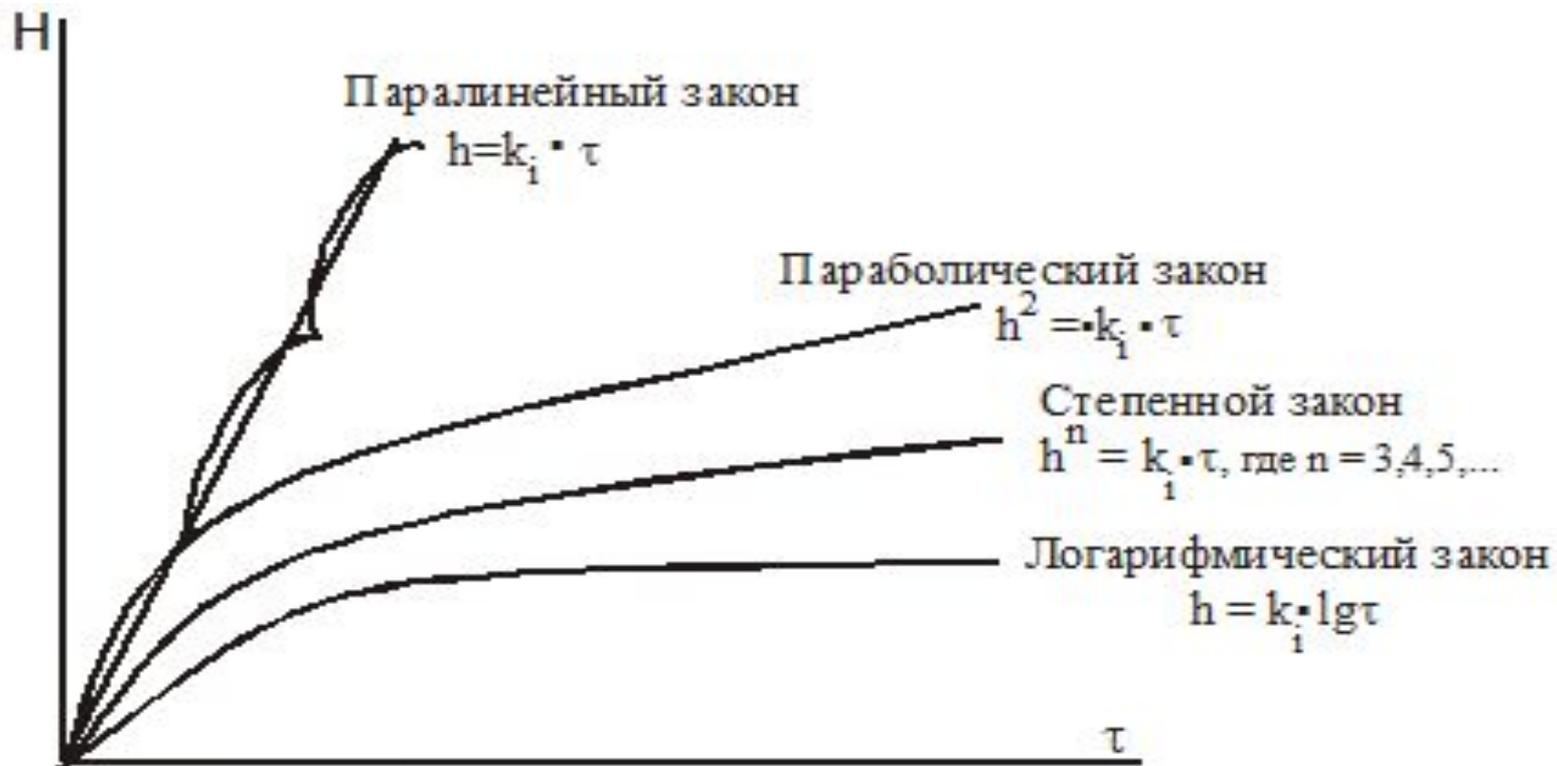
При $n = 2$ – параболический закон;
при $n = 10$ – логарифмический закон.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

Изменение толщины оксида во времени при различных законах роста оксидной пленки





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

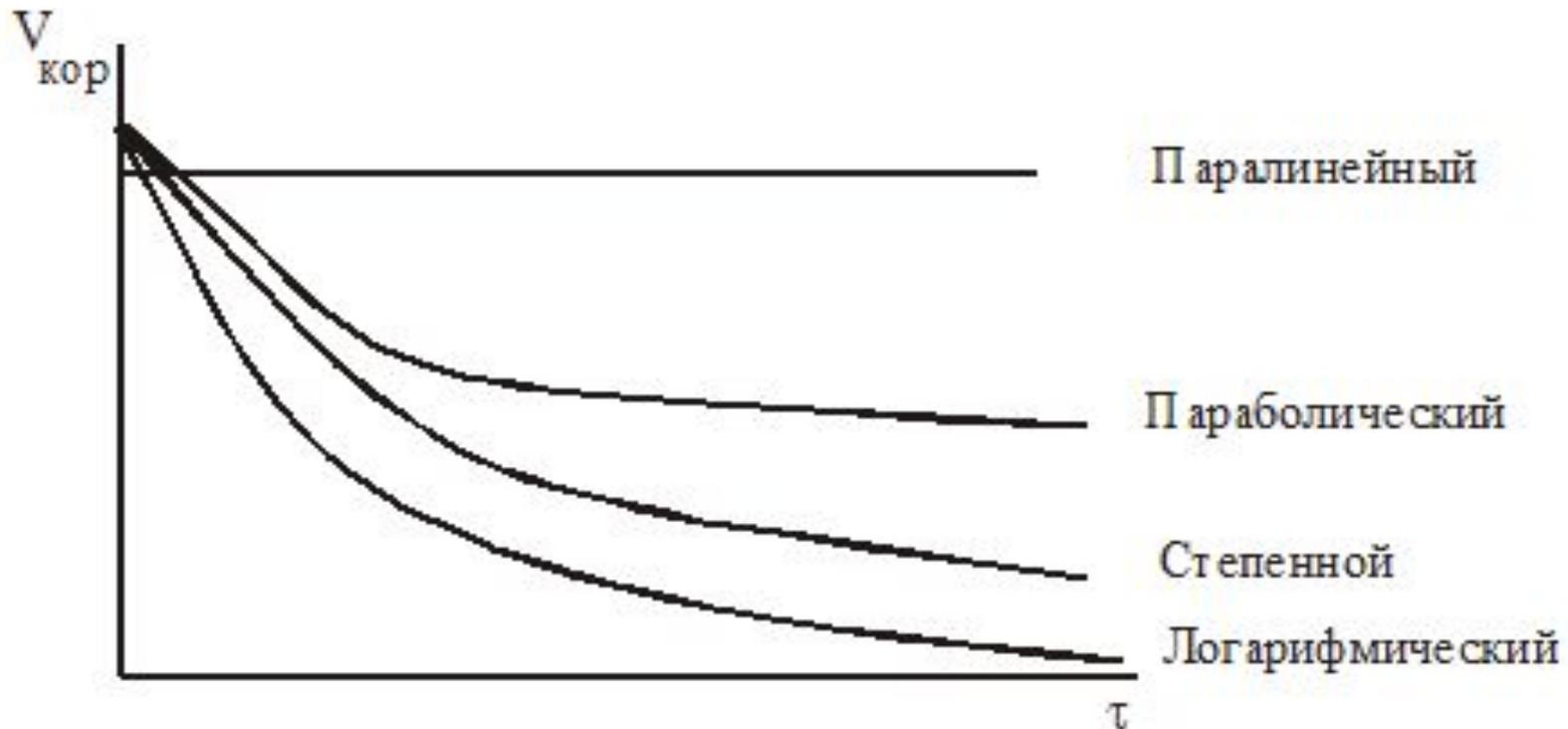
- При очень высоких температурах 800-900°C на металлах наблюдается **паралинейный** закон роста оксидной пленки.
- За счет высоких внутренних напряжений пленка оксида периодически отскакивает и скорость его роста периодически увеличивается. Если кривую усреднить, то получается линейный закон роста оксидной кривая 4)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

Изменение скорости коррозии во времени при различных законах роста оксидной пленки

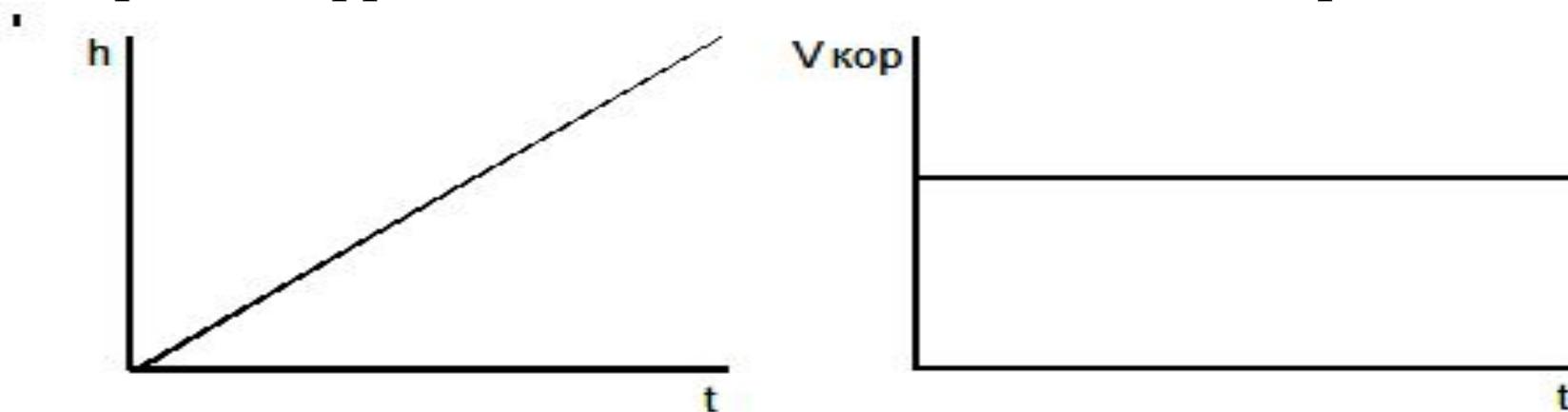




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кинетика химической коррозии

При очень высоких температурах близких к температуре плавления металла иногда наблюдается линейный закон роста оксидной пленки. Он возможен тогда, когда оксид плавится раньше, чем металл за счет флюсов в коррозионной среде, или оксид способен возгоняться. В этом случае скорость коррозии очень велика и постоянна во времени.



Вывод: Чем выше температура, тем опасней химическая коррозия.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние состава коррозионной среды на скорость химической коррозии

В воздухе возможно появление следующих газов:

H_2O (пары), SO_2 , SO_3 , H_2S , CO , CO_2 , Cl^- , H_2 и т.д.

1) Пары воды даже в очень небольшом количестве (5%)

при высоких температурах играют роль

дополнительного окислителя и снижают температуру

окалинообразования железа до 427°C



магнетит (сложный оксид и упорядоченный)



увеличение скорости коррозии

Влияние состава коррозионной среды на скорость химической коррозии



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

- 2) серосодержащие газы (доли %) SO_2 , SO_3 , H_2S , Cl_2 , проявляют себя, как дополнительные окислители.
- При обычных температурах действие таких газов не проявляется, но при $t > 300^\circ\text{C}$ на стали протекают следующие реакции:
 - $3\text{Fe} + \text{SO}_2 = \text{FeS} + 2\text{FeO}$ (в результате усложняется состав окалина, за счет FeS она делается менее плотной скорость коррозии увеличивается)
 - $6\text{Cu} + \text{SO}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Cu}_2\text{O}$ (SO_2 дополнительный окислитель, окалина менее плотная)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние состава коррозионной среды на скорость химической коррозии

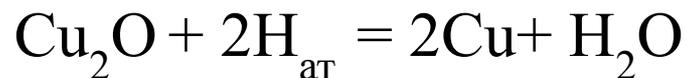
- H_2S при низких температурах не опасен, опасность возникает при температурах больших $300\text{ }^\circ\text{C}$:
- $$\text{Fe} + \text{H}_2\text{S} = \text{FeS} + \text{H}_2$$
- CO_2 , CO – действие этих газов проявляется только при очень высоких температурах $900\text{ }^\circ\text{C}$ и выше:
- $$\text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2 = 3\text{Fe} + 2\text{CO}$$
- При высоких температурах CO образует карбонилы, они возгоняемые, увеличивают скорость коррозии:
- $$\text{Fe} + 5\text{CO} = \text{Fe}(\text{CO})_5$$



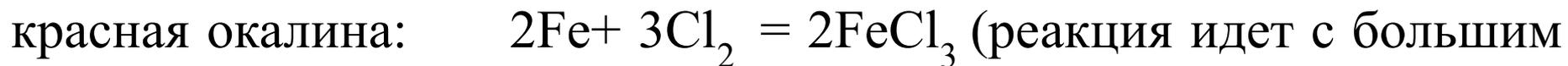
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние состава коррозионной среды на скорость химической коррозии

В атмосфере, содержащей H_2 , металл может охрупчиваться (водородная хрупкость). Она чаще наблюдается на железе, но может наблюдаться на Cu , хоть и $H_{ат}$ плохо диффундирует в Cu :



Сухой Cl_2 до $t=300-400^\circ C$ не опасен. Свыше $t=500^\circ C$ появляется



выделением тепла и Fe буквально сгорает в атмосфере Cl_2 .



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние на кинетику химической коррозии природы металла

Поведение металла при высоких температурах описывается двумя характеристиками:

- **Жаростойкость** – способность металла сопротивляться химической коррозии при высоких температурах.
- **Жаропрочность** – способность металла сохранять свои механические характеристики при высоких температурах.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Понятие о жаростойком металле

Жаростойкий металл – это металл который даёт упорядоченный оксид до температуры близкой к температуре плавления. т.е. сохраняет логарифмический закон роста оксидной пленки до температуры плавления



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Жаростойкие металлы

Al: $t_{\text{пл}} = 658^{\circ}\text{C}$ упорядоченная
плёнка, упорядоченный оксид
до температуры плавления $t_{\text{пл}}$

Cr: $t_{\text{пл}} = 1857^{\circ}\text{C}$

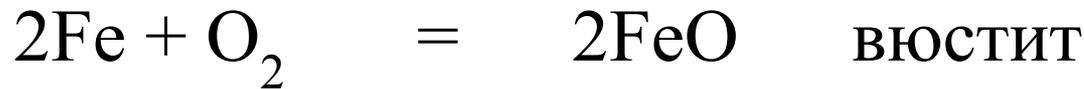
$t_{\text{окалинообразования}} = 1300^{\circ}\text{C}$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Поведение железа и его сплавов в условиях химической коррозии

При химической коррозии железа, углеродистых и низколегированных сталей на их поверхности могут образоваться



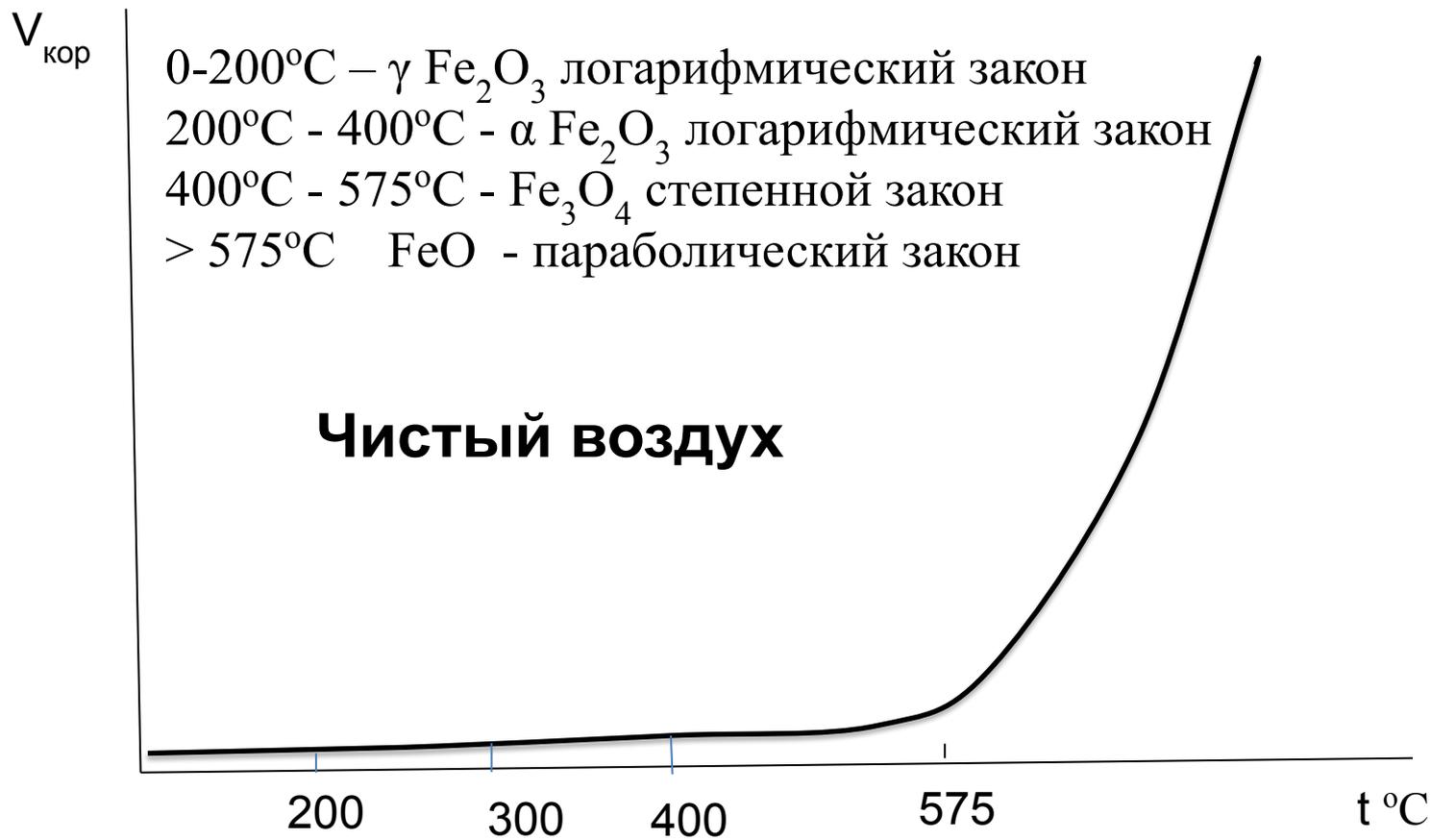
Вюстит – неупорядоченный не плотный оксид

Магнетит и гематит (плотные упорядоченные оксиды)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Поведение железа и его сплавов в условиях химической коррозии





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Поведение железа и его сплавов в условиях химической коррозии

Строение окалины



Соотношение по толщине





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние состава коррозионной среды на газовую коррозию СтЗ

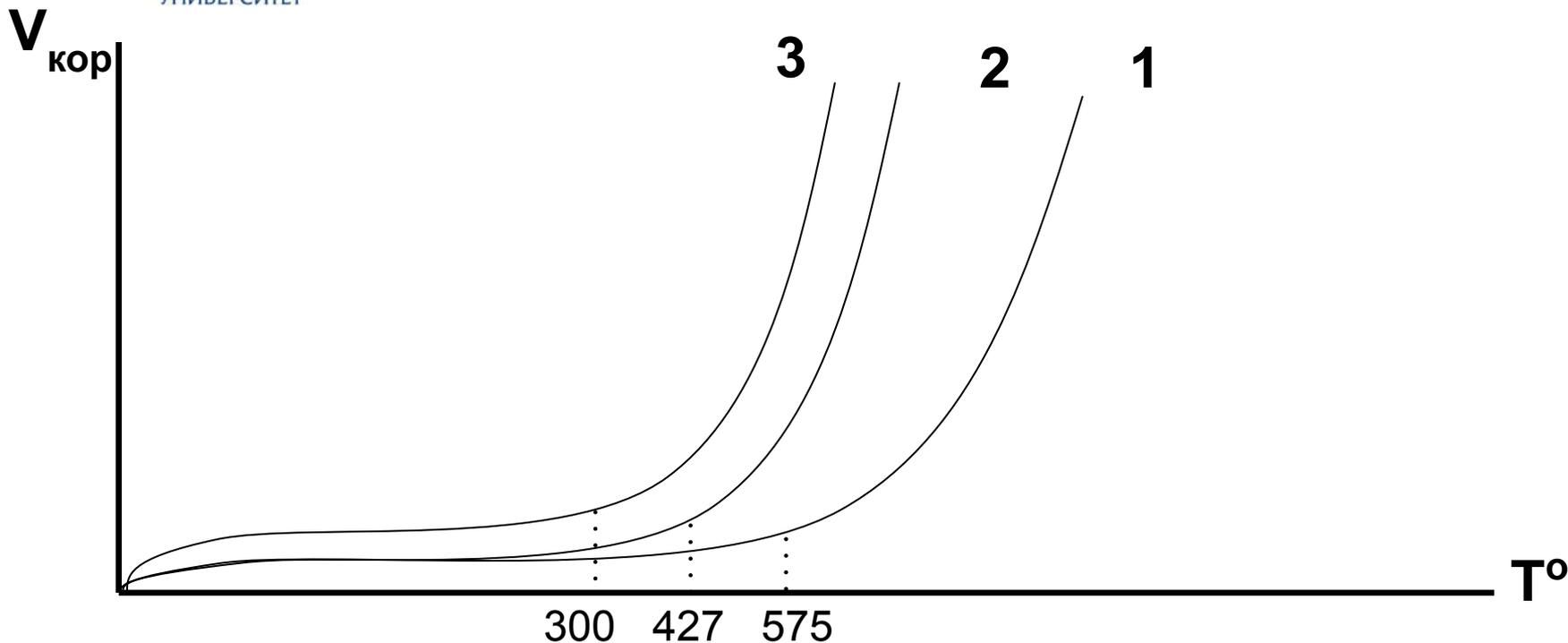


Рис.1.5 Поведение железа в условиях химической коррозии

1 - железо в чистом воздухе

2 - железо в чистом воздухе с 5% парами воды.

3 - железо в воздухе+пары воды + 0,02% серосодержащих газов(SO_2 ,
 SO_3 , H_2S)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Влияние состава коррозионной среды на газовую коррозию Fe

- Наиболее часто встречающаяся ситуация 3, поэтому можно сделать вывод, что реальной температурой окалинообразования железа, углеродистых и низколегированных сталей является **300 ° C**.
- Т.Е. до температуры в **300 ° C** эти материалы в условиях химической коррозии можно не защищать, а выше защита обязательна.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

