

# СПЛАВЫ С СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Разработал профессор В.А. Оськин

2013 г.



# Коррозионностойкие стали

*Коррозией называется процесс самопроизвольного разрушения материалов вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой*

Слово коррозия происходит от латинского «corrodo» - «грызу».

## Коррозия

```
graph TD; A[Коррозия] --> B[химическая]; A --> C[электрохимическая]
```

### **химическая**

протекает при непосредственном взаимодействии металла и среды без возникновения электрического тока.

### **электрохимическая**

разрушение металлов связано с возникновением электрического тока под действием электролитов или других причин.



*Электрохимическая коррозия* — наиболее распространённый вид коррозии металлов. При электрическом контакте двух металлов, обладающих разными электродными (электрохимическими) потенциалами и находящихся в электролите, образуется гальванический элемент.

## Схема гальванического элемента

Металл, имеющий отрицательный электродный потенциал (анод), отдаёт положительные заряженные ионы в электролит и растворяется



Избыточные электроны перетекают по внешней цепи в металл, имеющий более высокий электродный потенциал (катод). Катод при этом не разрушается. Чем ниже электродный потенциал металла по отношению к стандартному водородному потенциалу, принятому за нулевой уровень, тем легче металл отдаёт ионы в раствор, тем ниже его коррозионная стойкость.

Значения электродного потенциала  $E_0$  разных элементов приведены ниже. Ход электрохимического процесса определяется разностью потенциалов элемента.

Элемент	Mg	Al	Zn	Cr	Fe	Co	Ni
$E_0, \text{В}$	-2,37	-1,66	-0,76	-0,74	-0,44	-0,28	-0,25
Элемент	Sn	Pb	H	Cu	Hg	Ag	Au
$E_0, \text{В}$	-0,14	-0,13	0	+0,34	+0,79	+0,80	+1,50



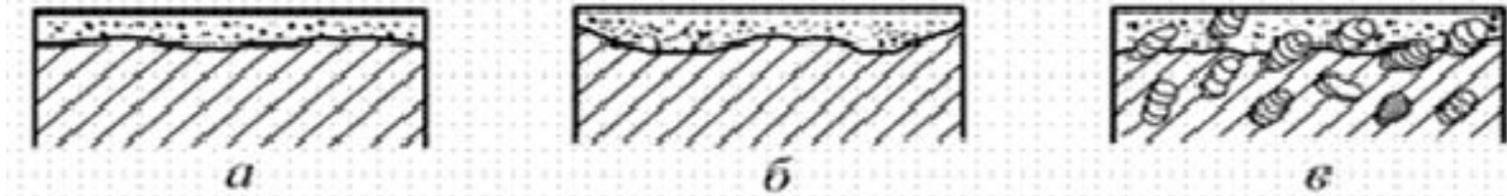
# 10-балльная шкала для оценки общей коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год.	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,005	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
Пониженно-стойкие	Свыше 0,1 до 0,5	6
	Свыше 0,5 до 1,0	7
Малостойкие	Свыше 1,0 до 5,0	8
	Свыше 5,0 до 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10,0	10

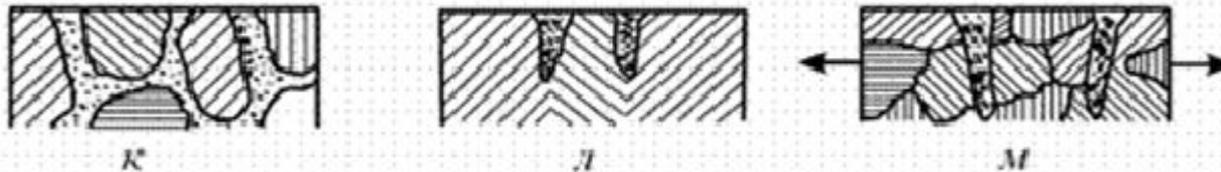


## *Виды коррозии металлов*

Коррозия, захватившая всю поверхность металла, называется сплошной. Её делят на равномерную (а) и неравномерную (б). При местной коррозии (в) поражения локальны.



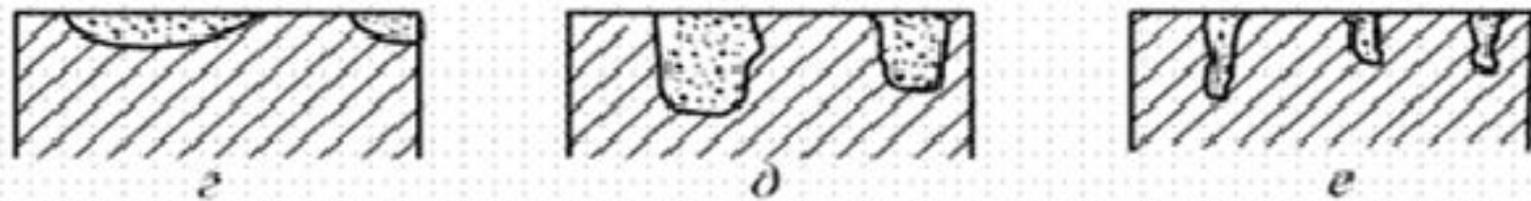
Наиболее опасные виды местной коррозии — межкристаллитная (к), которая, продвигается вглубь по границам зёрен металла, и транскристаллитная (м), рассекающая металл трещиной прямо через зёрна. Близка к ним по характеру ножевая коррозия (л), словно ножом разрезающая металл вдоль сварного шва при эксплуатации в особо агрессивных растворах.



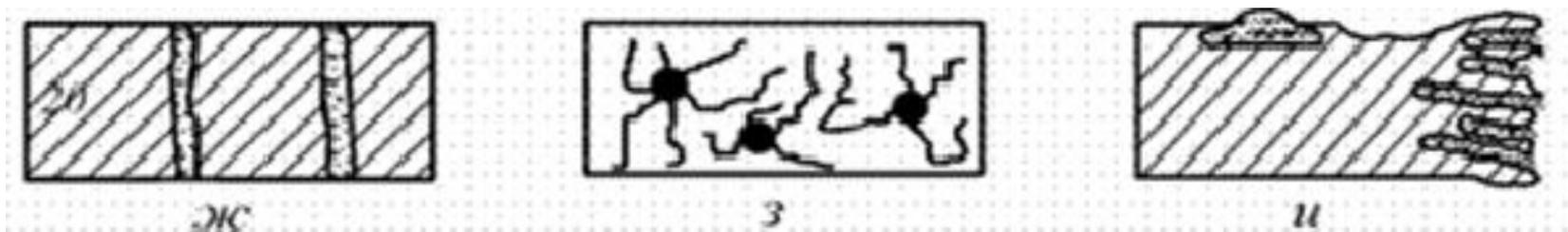
Эти, почти невидимые, поражения могут приводить к полной потере прочности и разрушению детали или конструкции.



В зависимости от степени локализации различают коррозионные пятна (г), язвы (д) и питтинг (е).



Под неметаллическими покрытиями может развиваться поверхностная нитевидная коррозия (з), а при пластической деформации – послойная деформация. При избирательной коррозии в сплаве могут избирательно растворяться отдельные компоненты твёрдых растворов (например, цинк в латуни).



# ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

покpытиями

протекторами

легирование

неметаллические

металлические

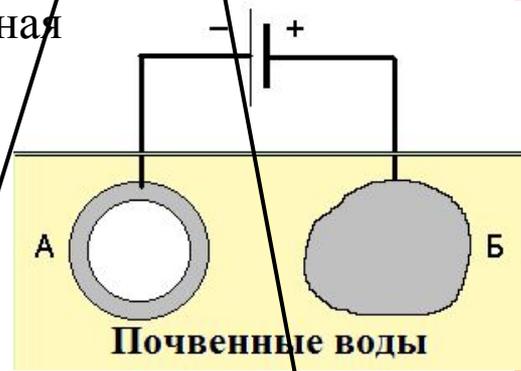
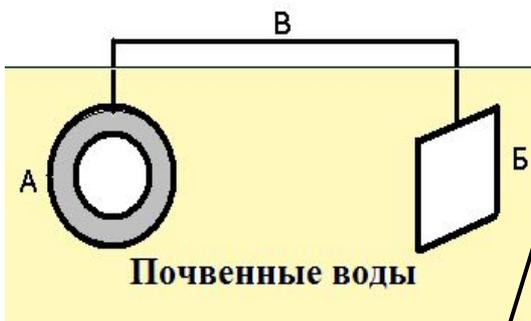
лаки, краски, эмали.

анодные

катодные

пассивная

активная



A – трубопровод  
B – протектор

Наружное лакокрасочное покрытие, 30...60 мкм



создание устойчивых оксидных плёнок

плёнок

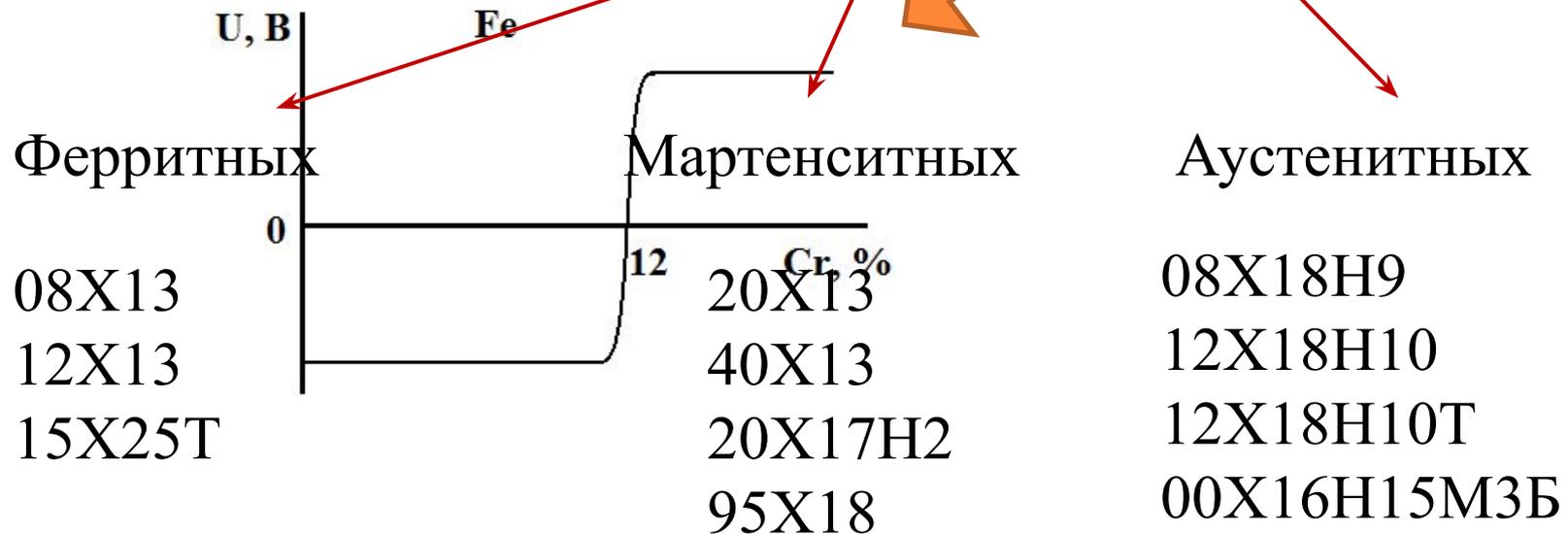
получение однофазных структур



# ЗАЩИТА ЛЕГИРОВАНИЕМ

Создание плотных оксидных плёнок на поверхности сплавов (Cr, Al, Si)

Получение коррозионностойких сталей



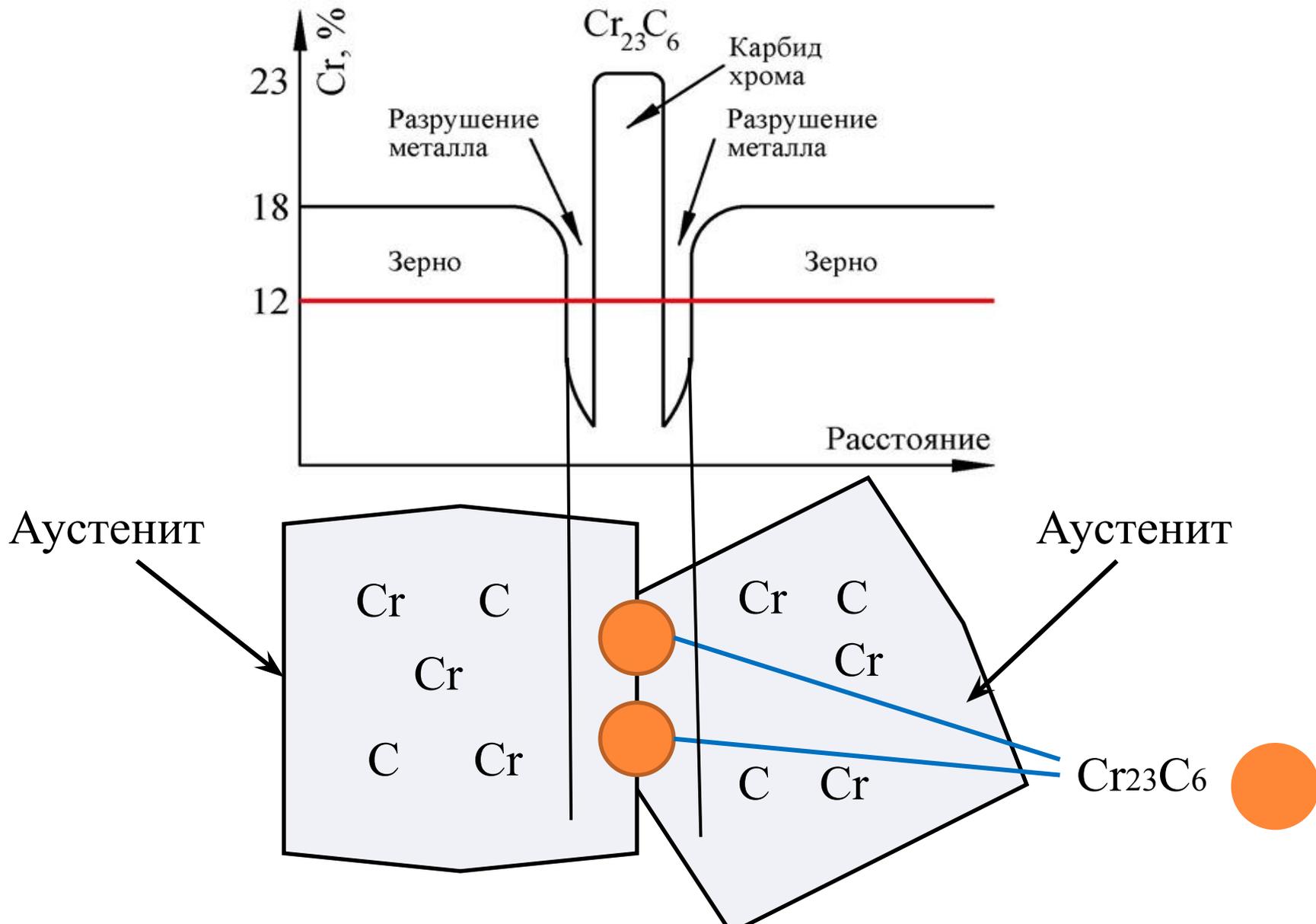
# **Межкристаллитная коррозия металлов**

**Межкристаллитная коррозия — вид коррозии, при котором разрушение металла происходит преимущественно вдоль границ зёрен. Происходит при нагреве аустенитных сталей до температуры 450...850 °С.**

**Межкристаллитная коррозия вызвана диффузионными процессами в структуре стали, приводящими к образованию карбидов хрома по границам зёрен и одновременным обеднением хромом участков, непосредственно прилегающих к границам зёрен.**

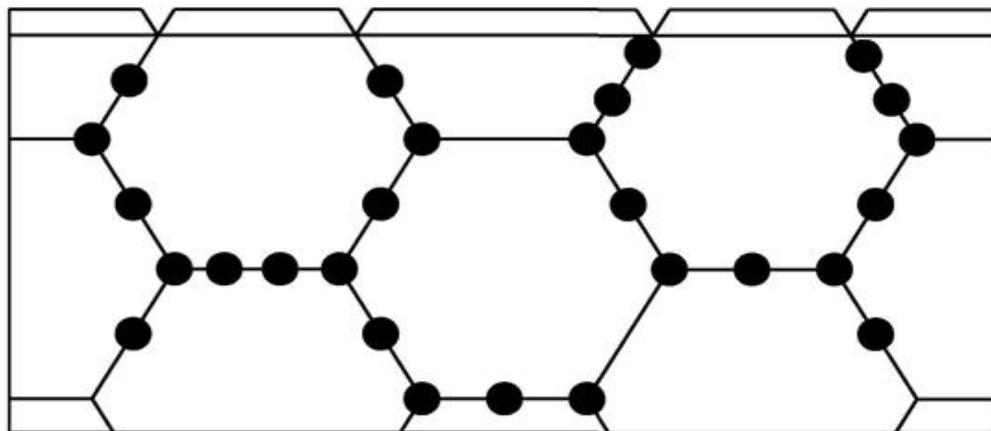


# Распределение хрома в поперечном сечении аустенитных зёрен (12X18Н10)

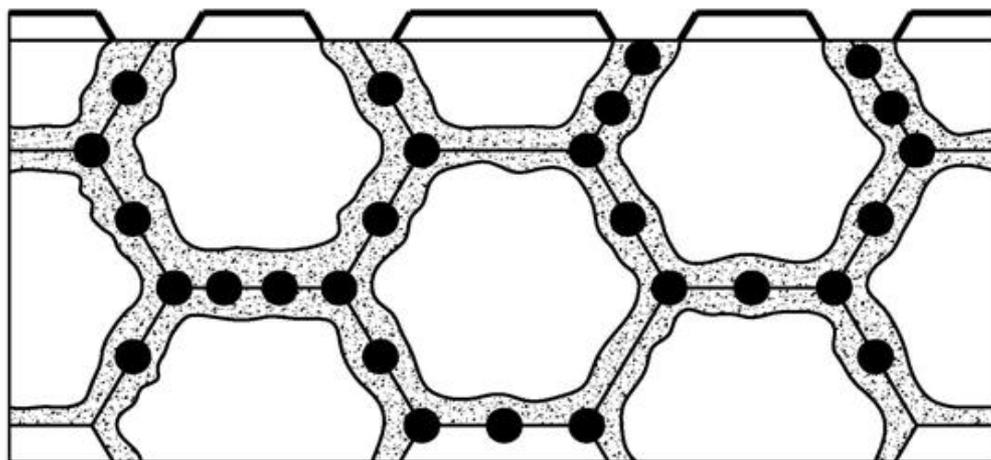


# Схема разрушения металла при межкристаллитной коррозии

выделение карбидов  
хрома по границам  
зёрен;



межкристаллитная  
коррозия по  
участкам,  
обеднённым  
хромом



# Жаростойкие стали

**Жаростойкость** – способность металла сопротивляться окислению в газовых средах (воздух, газы, водяной пар) при высоких температурах

Оксиды бывают рыхлые и плотные. В рыхлых скорость окисления большая, в плотных -- невысокая

## Процессы, происходящие на поверхности сплава

При температурах до 570 °С (рис.1, а) на поверхности образуются плотные оксиды  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$ , поэтому окисление идёт медленно

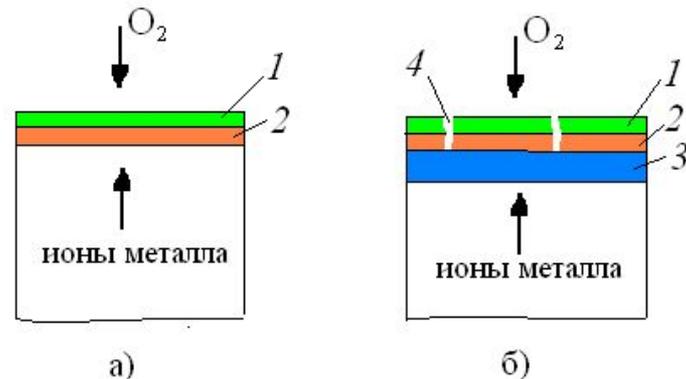


Рис.1. Оксидные пленки на поверхности металла при нагреве до различных температур: а -- до 570 °С; б -- выше 570 °С; 1 --  $Fe_2O_3$ ; 2 --  $Fe_3O_4$ ; 3 --  $FeO$ ; 4 -- трещина

При  $T > 570$  °С (рис.1, б) эти оксиды растрескиваются и, под ними, образуется быстро растущий рыхлый слой  $FeO$  с низкой прочностью. Эти три оксида образуют окалину.



Жаростойкость стали повышают легированием хромом, алюминием и кремнием, которые образуют на поверхности плотные оксидные плёнки типа  $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{O}_3$ ,  $(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_3$ , с хорошими защитными свойствами.

Содержание хрома составляет 5...28 %, кремния 2...3 %, алюминия 5...6 %

Жаростойкость стали 12Х13 – 700 град. С; 15Х6СЮ – 800, а 08Х17Т - 900

Жаростойкость определяется, прежде всего, количеством легирующих элементов в стали и мало связана со структурой. При равном содержании хрома, температура образования окалина  $T_{ок}$  повышается на 100...150 °С при легировании кремнием и алюминием.

Сплавы на никелевой основе с Cr и Al ( ХН70Ю с 26...29 % Cr и 2,8...3,5 % Al ) обладают жаростойкостью до 1200 °С.



# Жаропрочные стали

**Жаропрочность** - свойство материала сопротивляться пластической деформации и разрушению при длительном воздействии нагрузки и температурах  $> 0,3T_{пл}$ .

При этих температурах наблюдаются процессы ползучести и релаксации напряжений.

**Ползучесть** – это увеличение со временем пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести.

В предварительно нагруженных деталях происходит релаксация напряжений (самопроизвольное уменьшение напряжений) При повышенных температурах с течением времени уменьшаются напряжения в крепёжных деталях, ослабевают натяги и т. п.

Типичная кривая  
ползучести

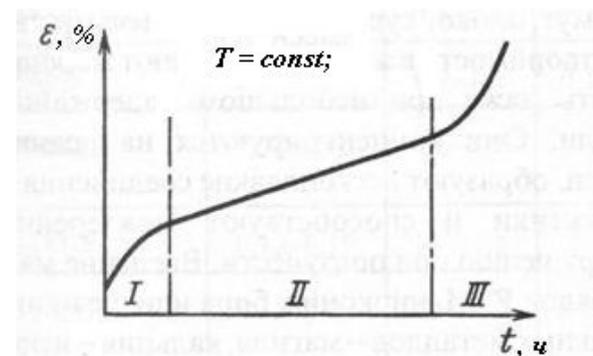


Рис. 2. Зависимость деформации от времени при ползучести: I - неустойчивая стадия; II - установившаяся стадия; III - стадия ускоренной ползучести и разрушения

Факторами, способствующими жаропрочности, являются:

- высокая температура плавления основного металла;
- наличие в сплаве твёрдого раствора и мелкодисперсных упрочняющих фаз;
- пластическая деформация, вызывающая наклёп;
- высокая температура рекристаллизации;
- рациональное легирование;
- термическая и термомеханическая обработка;
- введение в жаропрочные стали бора, церия, ниобия, циркония, (в десятых, сотых и даже тысячных долях).



Жаропрочность сталей обеспечивается легированием и термической обработкой для получения однородной структуры с дисперсными частицами карбидов, интерметаллидов и других частиц.

Оптимальная структура жаропрочных сталей – твёрдый раствор, упрочнённый дисперсными частицами вторых фаз.

Марка стали	Класс стали	Режим Т. о.	Структ после Т.о.	Т, °С
12ХМ	П-ный	Нормализация 910 °С, отпуск 670 °С	Лег. Ф+ карб.	540
40Х10С2М	М-ный	Закалка 1030 °С, масло, отпуск 720 °С	Лег. сорбит + карб.	650
12Х18Н10Т	А-ный	Закалка 1100 °С, вода, отпуск 700 °С	Легир. Ауст.	700
45Х14Н14В2М	А-ный с карб. упр.	Закалка 1150 °С, вода, старение 750 °С, в течение 5 ч	Легир. Ауст. + карб.	650
09Х14Н19В2Б Р	А-ный с интер. упр.	Закалка 1140 °С, воздух, старение 700 °С в течение 16 ч	Легир. Ауст. + интерм..	700



**КОНЕЦ**

