



**Аустенитно-
ферритные
(дуплекс) стали**

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE

Providing special steel solutions





Введение:

- Коррозионная стойкость

- Виды нержавеющей стали

- Ферритные стали

- Аустенитные стали

- Чувствительность аустенитных сталей к коррозионному растрескиванию

- Мартенситные стали

Дуплексные стали

- Свариваемость дуплексных сталей

- Прочность различных видов стали

- Низкотемпературная ударная вязкость различных видов стали

- Высокотемпературное поведение дуплексных и аустенитных сталей

- Развитие цен различных видов стали

- Ранжирование различных видов стали

- Стандартные марки дуплексных сталей

Заключение



Коррозионная стойкость

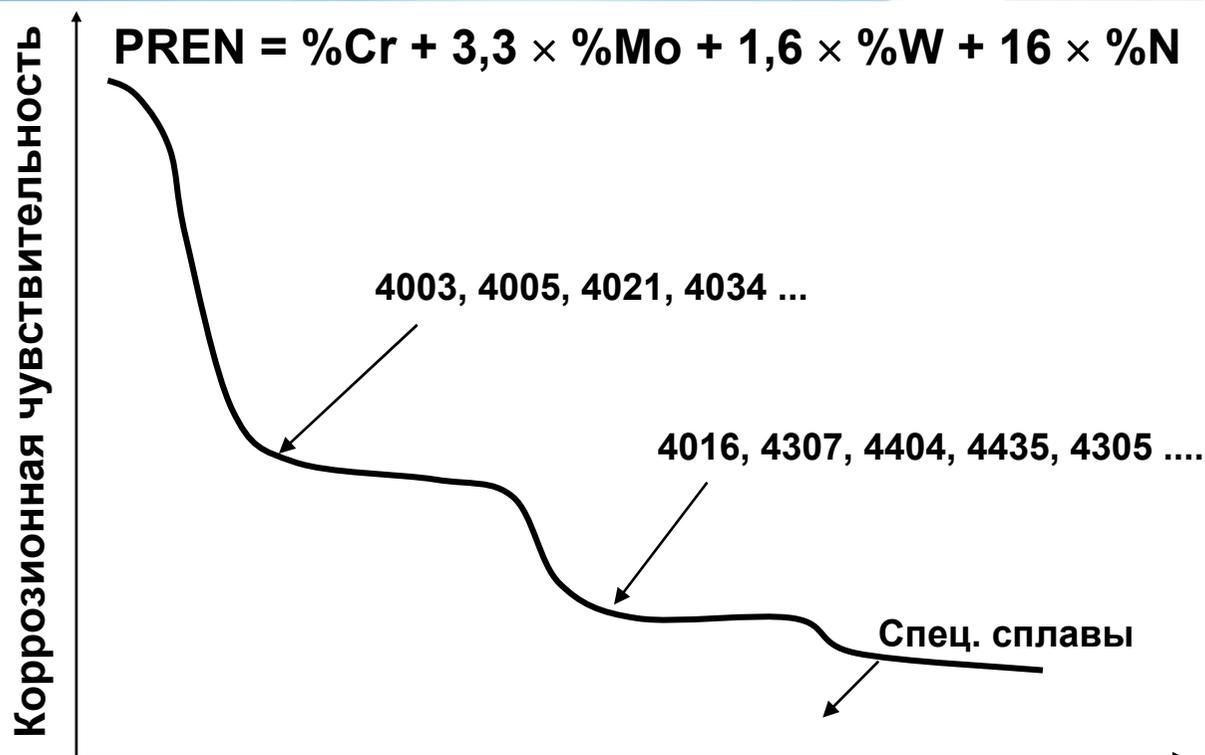
Cr – образует защитный слой на поверхности стали

Mo, N и W упрочняют этот слой

Эти элементы не могут создать защитный слой в отсутствие Cr

PREN – экспериментально полученная формула

Она может быть использована для оценки коррозионной стойкости

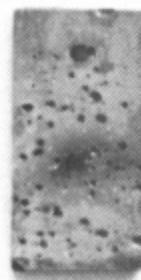


12

17

40

Содержание хрома, %



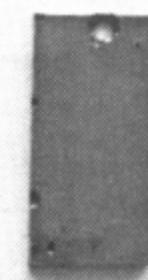
0% Mo



1% Mo



2% Mo



3% Mo

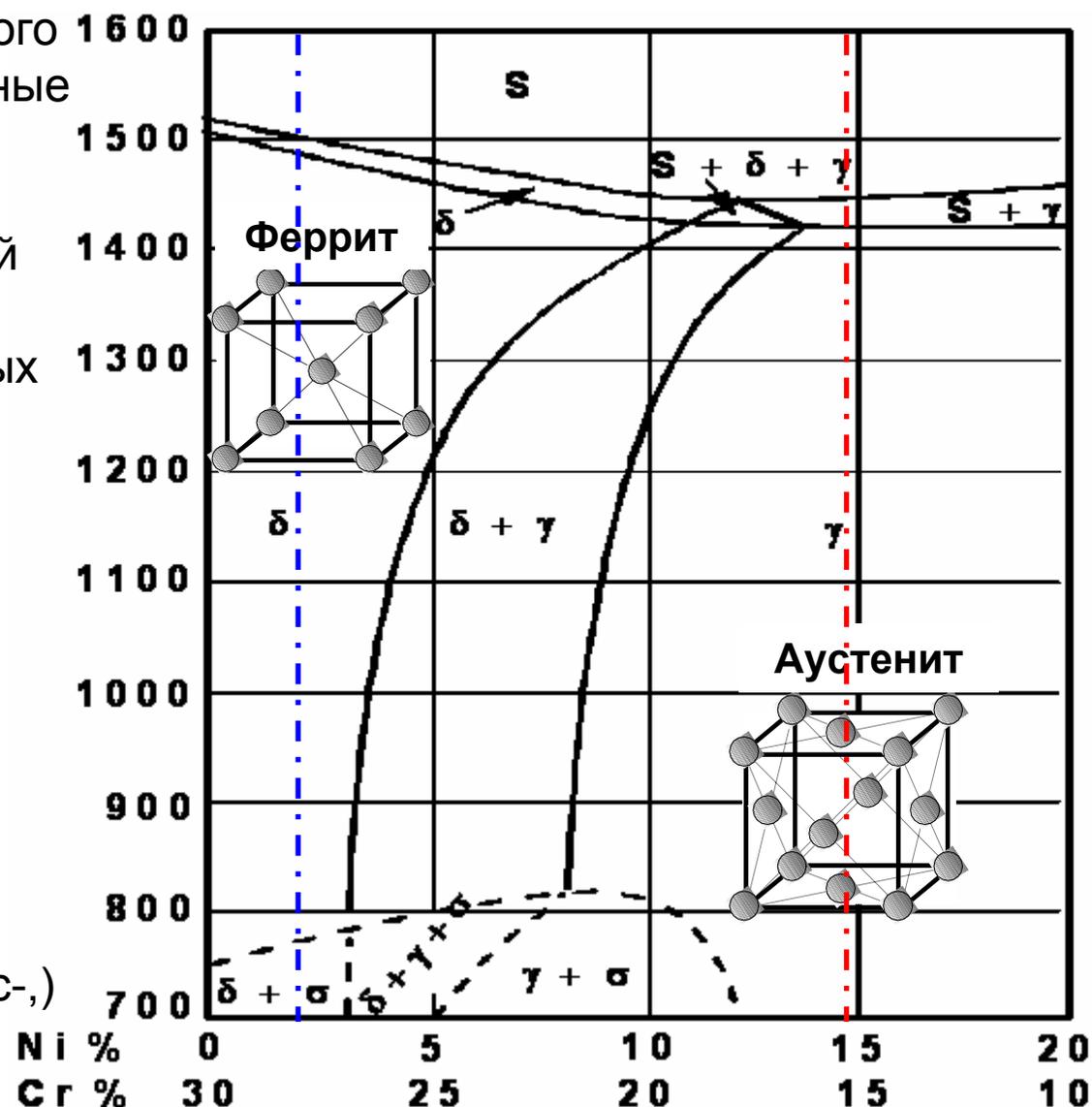


Виды нержавеющей сталей

Сталь в зависимости от химического состава может принимать различные кристаллические структуры

В зависимости от кристаллической (металлографической) структуры, стали делят на несколько основных групп:

- Ферритные
- Аустенитные
- Мартенситные
- Никель-, (мягко-,) мартенситы
- Аустенитно-ферритные (дуплекс-,) стали





Кристаллизуются без фазовых превращений => опасность охрупчивания из-за роста зерен

Объемцентрированная плотноупакованная решетка => низкая растворимость/высокая скорость диффузии H, C, N и O => опасность охрупчивания из-за выделений H₂ и немет. фаз

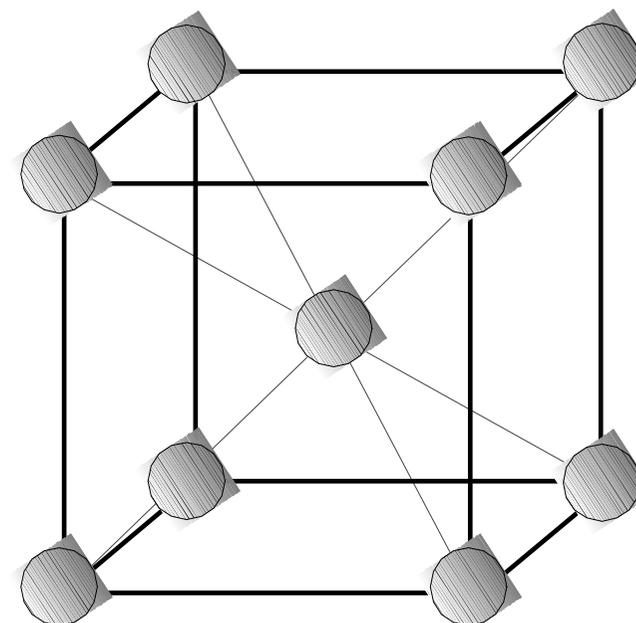
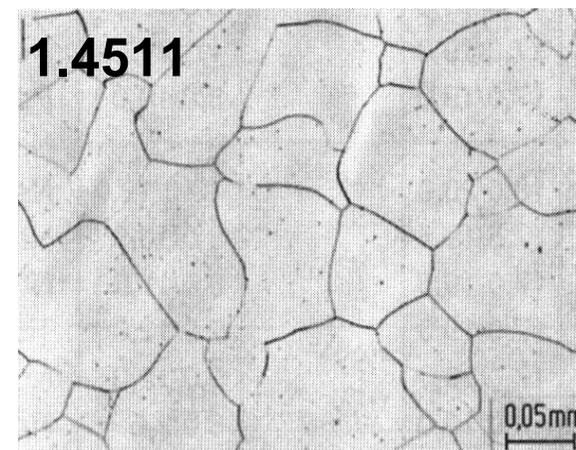
Невысокие значения прочности, твердости и вязкости

Хорошие ковкость и прокатываемость

Высокая коррозионная стойкость при соответствующем легировании

Кол-во Cr, N и Mo ограничены обрабатываемостью и плохой растворимостью

Условная свариваемость



Аустенитные стали

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE

Providing special steel solutions



Гранецентрированная решетка => хорошая растворимость H, C, N и O => опасность охрупчивания из-за выделения H₂ и немет. фаз ниже чем у ферритов

Низкая скорость диффузии => опасность охрупчивания из-за роста зерен ниже чем у ферритов

Хорошая вязкость и ударная прочность

Невысокие значения прочности и твердости, которые могут быть увеличены за счет наклепа

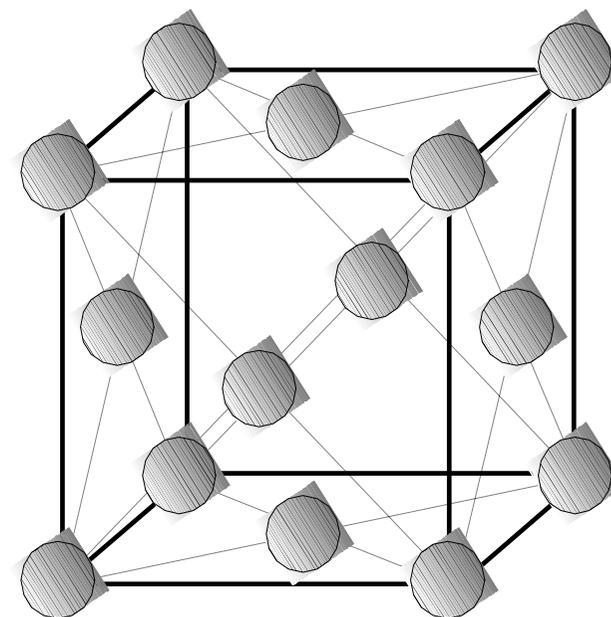
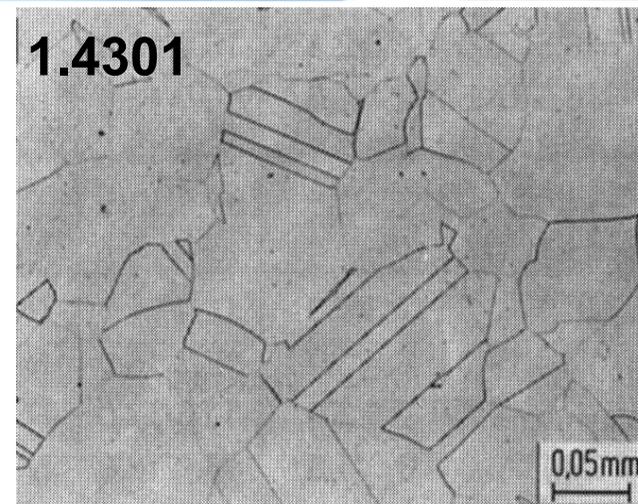
Очень хорошие ковкость и прокатываемость

Высокая коррозионная стойкость при соответствующем легировании

Очень хорошая свариваемость

Низкая теплопроводность => условная обрабатываемость резанием

Высокая стоимость благодаря высокому содержанию никеля





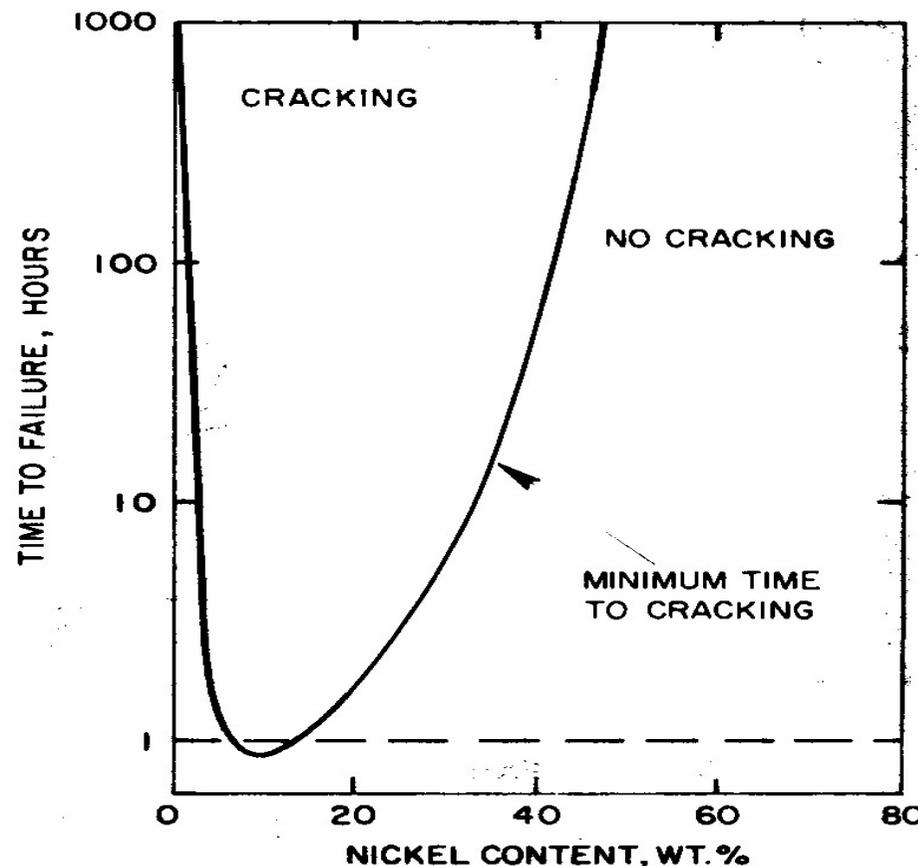
Коррозионные особенности

Аустенитная структура => содержание Cr, Mo и как следствие коррозионная стойкость ограничены

Ni облегчает образование защитного слоя и делает его более стабильным => аустениты стабильнее ферритов с тем же кол-вом Cr против **обычной** коррозии

В то же время, Ni делает сталь нестойкой против коррозионного растрескивания в особенности в присутствии хлоридов, внешних напряжений и/или повышенной температуры

Содержание Ni в стандартные аустенитах около 10 % это делает их чувствительными к **коррозионному растрескиванию**



1.4401 (316)	} ca. 8 – 10 % Ni
1.4404 (316L)	
1.4301 (304)	
1.4307 (304L)	
1.4305 (303)	



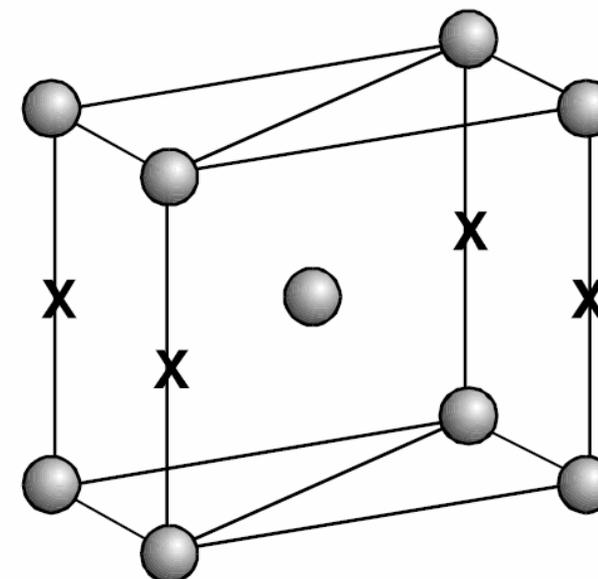
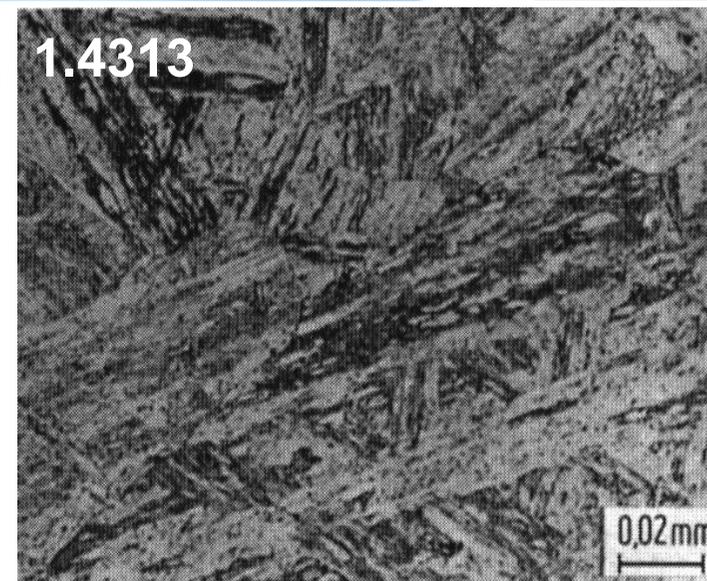
При высоких темп. являются аустенитом с высоким кол-вом растворенного С => при быстром охлаждении превращаются в перенасыщенный С феррит с искаженной решеткой

=> очень высокие прочность и твердость, низкая вязкость

Из-за необходимости существования высокотемпературного аустенита, содержание Cr, Mo и как следствие коррозионная стойкость ограничены

Добавка Ni позволяет немного увеличить содержание Cr и Mo (коррозионную стойкость) и вязкость, но они все еще остаются на невысоком уровне

Высокая твердость => условная обрабатываемость резанием



Аустенитно – ферритные стали (дуплекс)

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



Обладают смешанной структурой состоящей из примерно равного соотношения феррита и аустенита

Феррит и аустенит взаимно препятствуют зеренному росту и пластической деформации => высокая прочность

Высокая доля аустенита обеспечивает хорошую вязкость и ударную прочность

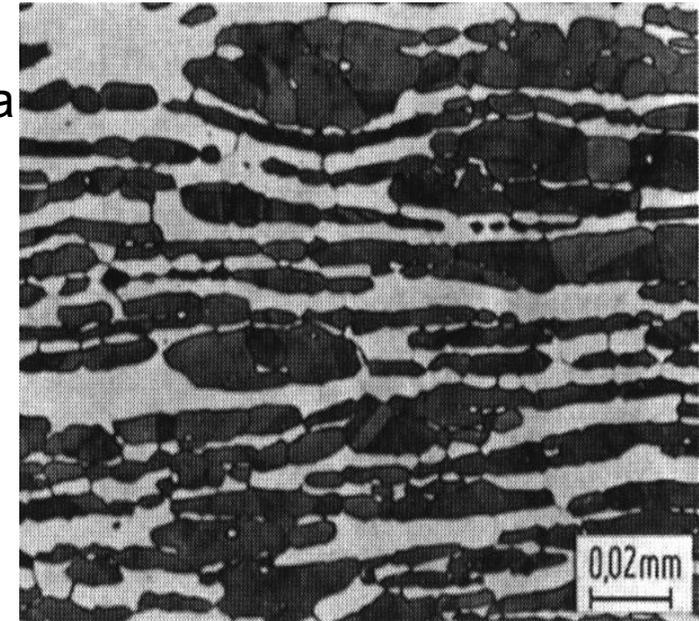
Высокое содержание Cr, N и Mo => высокая коррозионная стойкость

Феррит препятствует индуцированному хлоридами коррозионному растрескиванию, к которому так чувствительны аустениты

Хорошие ковкость и прокатываемость

Хорошая свариваемость

Разумная стоимость



1.4462 (X2 CrNiMoN 22-5-3)

Аустенитно – ферритные стали (дуплекс)

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



Особенности сварки

Не требуют подогрева перед сваркой, в случае если он проводится, температура не должна превышать 150°C

Если сварка делается в несколько приемов, температура шва между ними не должна превышать 150°C

При сварке должно использоваться достаточно большое количество энергии

Охлаждение после сварки должно проводиться относительно медленно, без воды или обдувки воздухом

Сварка должна проводиться с присадочным материалом, близким по химическому составу к основному материалу, но с повышенным, до 9 %, никелем

Тот же присадочный материал может использоваться при сварке дуплексов с аустенитами



Fa. Messer, Krefeld

Кривая напряжение-деформация для различных сталей

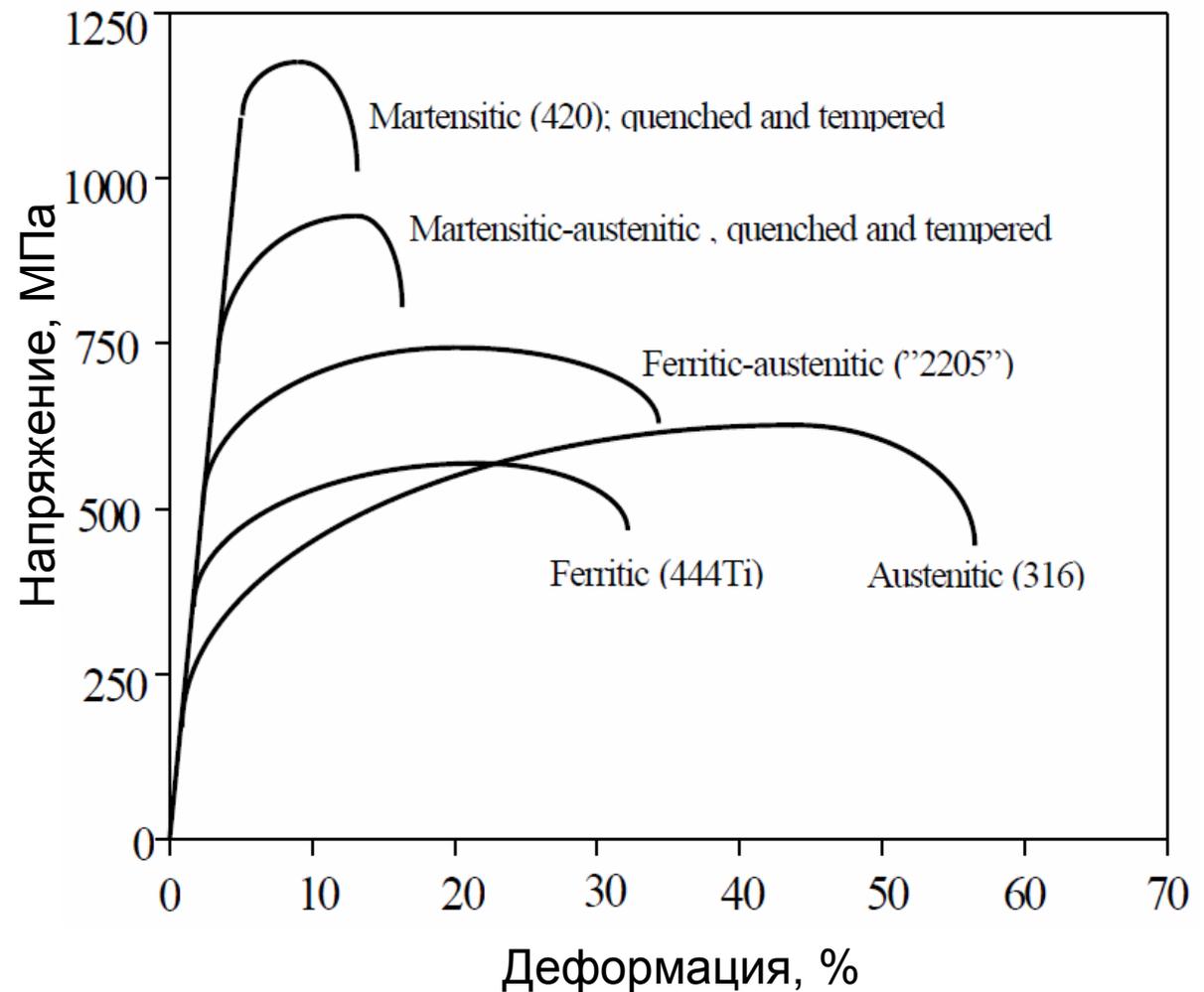
DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



Ферриты и аустениты =>
самая низкая прочность,
аустенит => самая высокая
вязкость

Мартенсит => самая высокая
прочность => самая низкая
вязкость

Аустенитно-ферритные стали
обладают оптимальной
комбинацией механических
свойств



Температурная зависимость ударной прочности различных сталей

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions

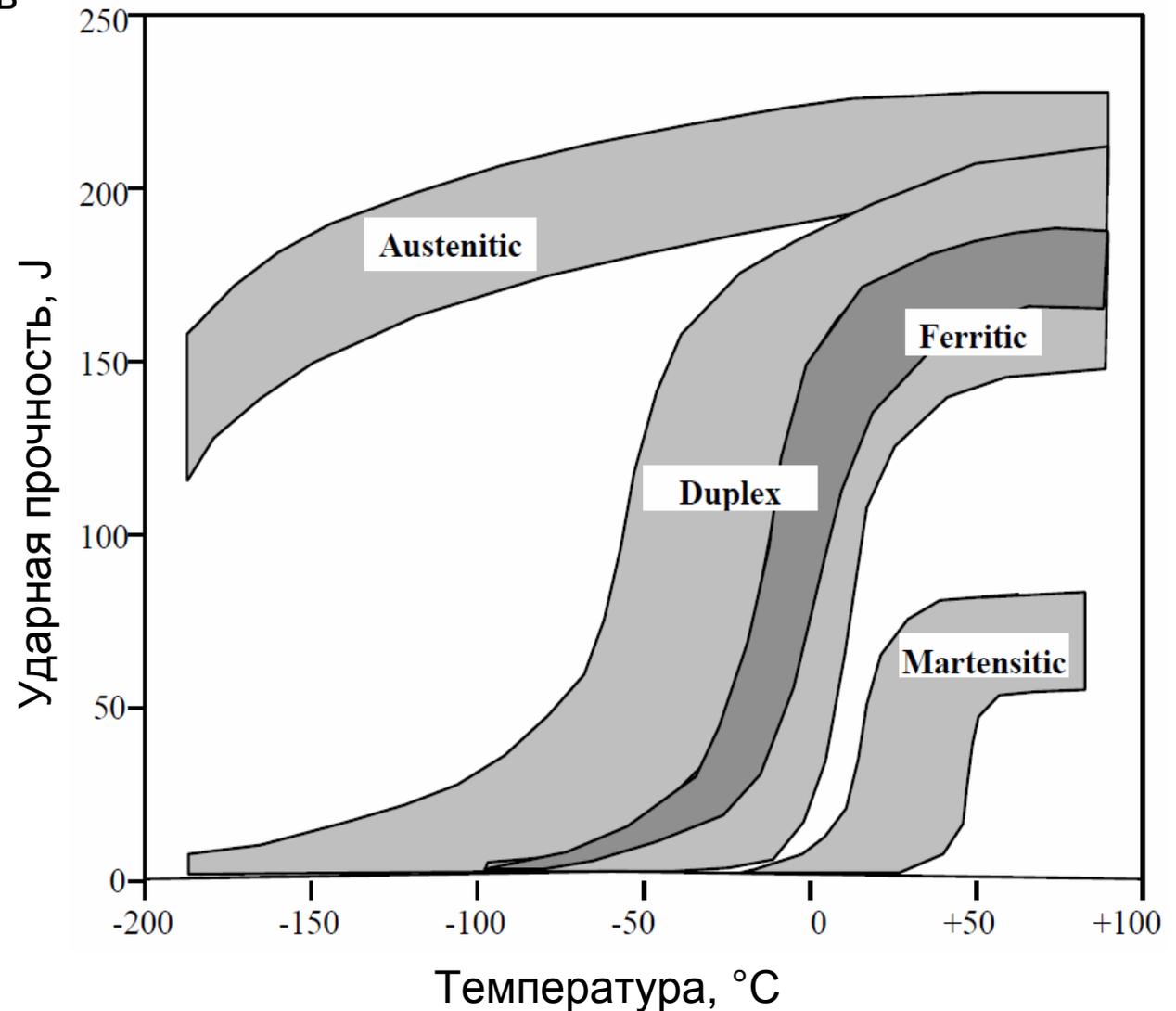


Ударная прочность ферритов и мартенситов падает скачком при отрицательных температурах

Ударная прочность аустенитов постепенно снижается с температурой

Ударная прочность дуплексных сталей подобна ферритной, но падение происходит при значительно более низких температурах

Современные стали зачастую обладают более высокими значениями ударной прочности чем показанные на диаграмме

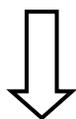


Температурная зависимость предела текучести различных сталей

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



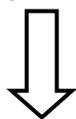
С повышением температуры предел текучести снижается как для аустенитных так и для дуплекс-сталей



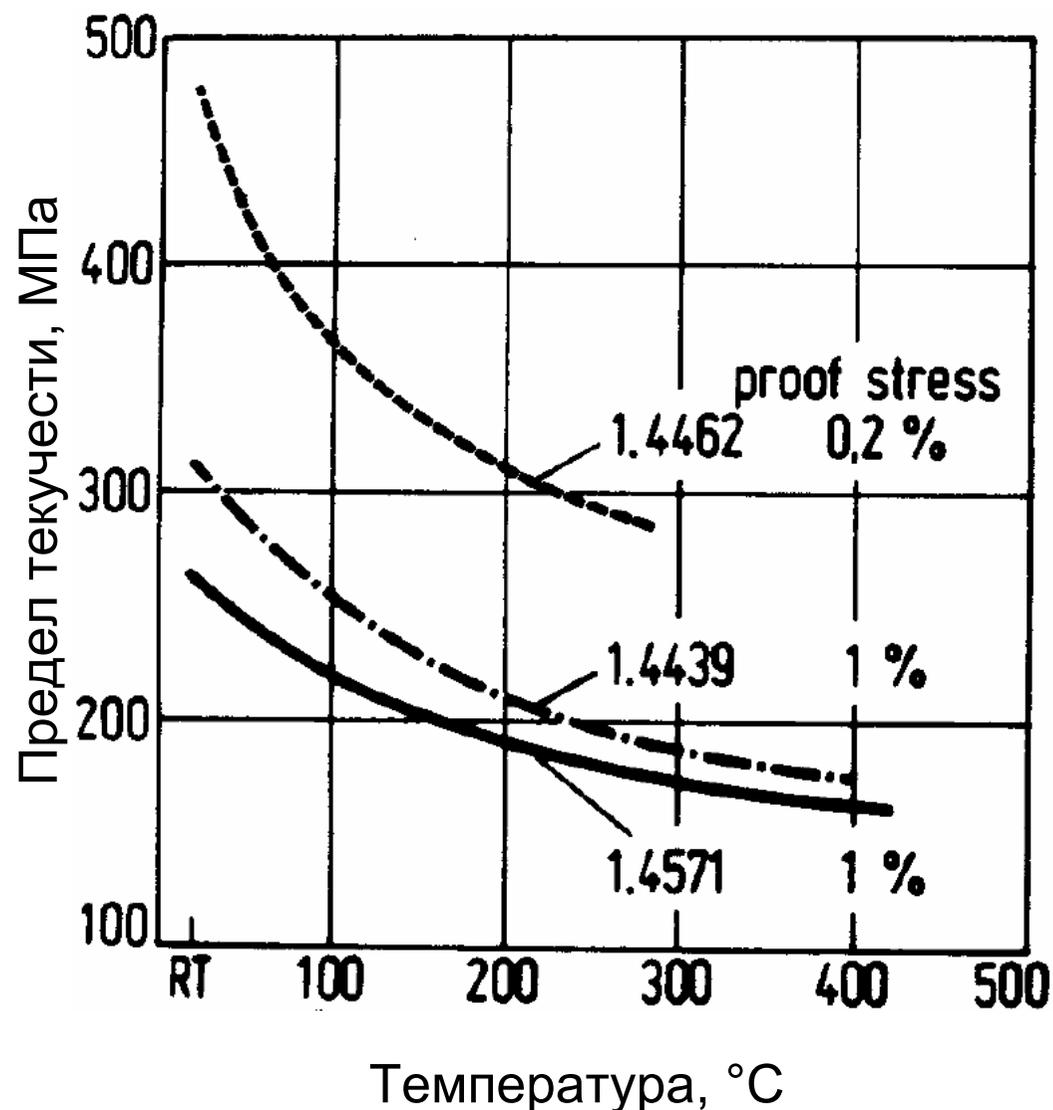
Стабильно оставаясь для дуплекс-сталей на как минимум 200 МПа выше чем для аустенитов до 300°C



После длит. промежутков времени при 300°C у дуплекс-сталей наступает охрупчивание

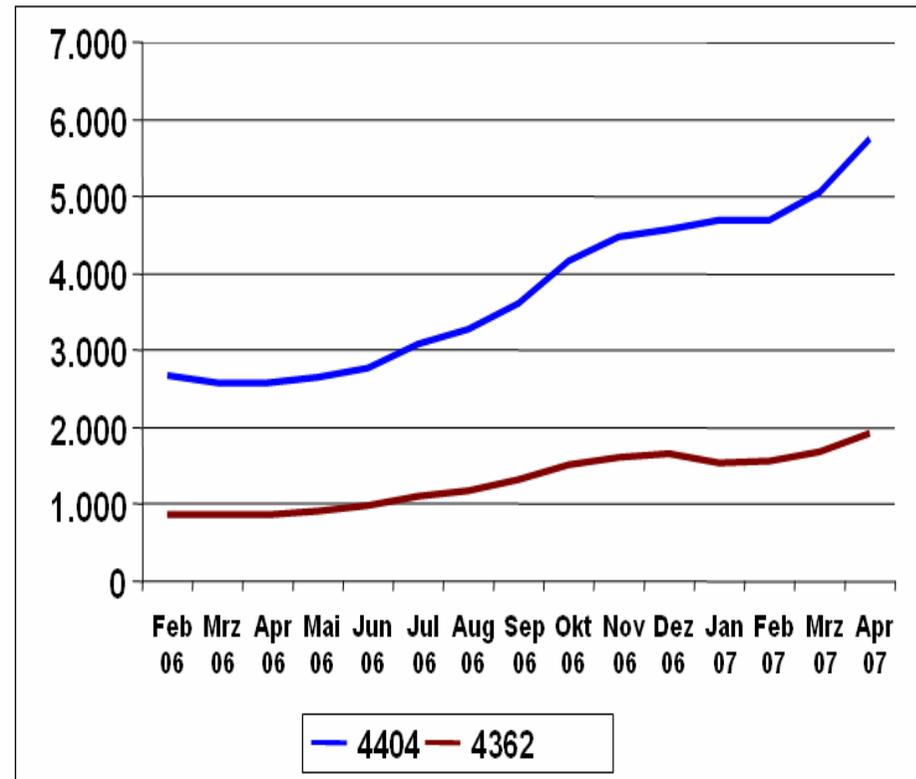
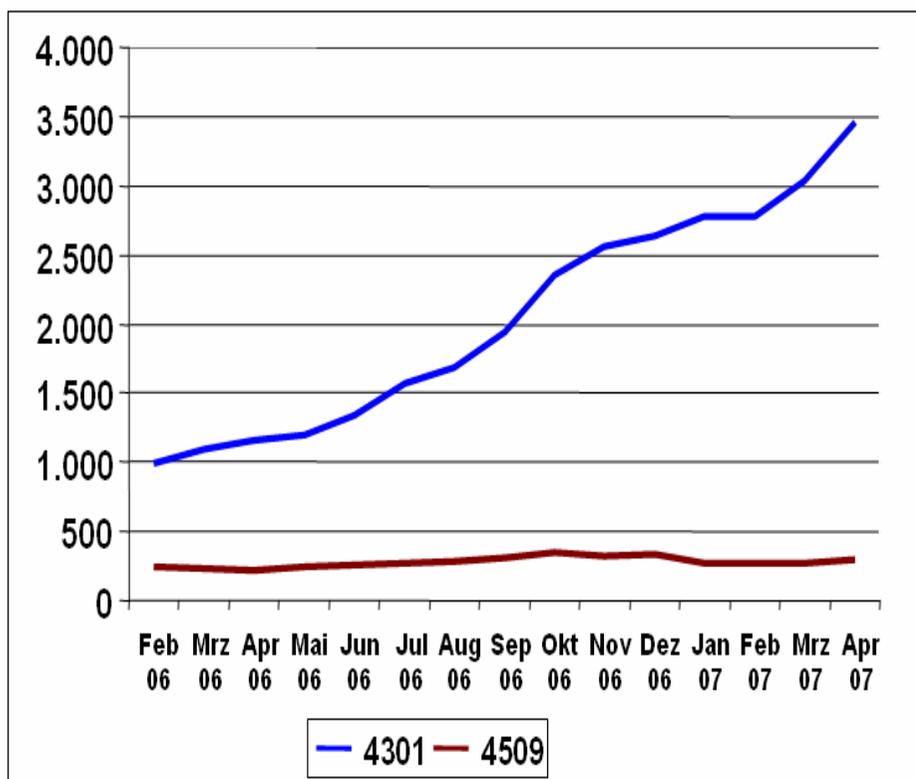


При рабочих температурах 300°C и выше использование дуплекс-сталей не оправдано



Развитие цен на различные стали

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



За промежуток времени чуть более чем один год, цены на легирующие добавки, в особенности на Ni и Mo значительно выросли



Благодаря этому цены на стандартные виды аустенитов выросли в среднем на 2700 Евро/т, для дуплекс-сталей на 1200 Евро/т, для ферритов не более чем на 500 Евро/т

Свойства	Феррит 1.4016	Мартенсит 1.4021	Никель-март. 1.4418	Аустенит 1.4404	Дуплекс 1.4462
Пределы текучести/прочности	2	5	4	1	3
Вязкость при комн. темп.	2	1	3	5	4
Макс. раб. темп. при корр. воздейст.	250°C	400°C	400°C	400°C	300°C
Низкотемп. вязкость	2	1	3	5	4
Обработываемость:					
Деформируемость	1	3	4	5	3
Свариваемость	1	2	3	5	4
Резаемость	4	5	3	1	3
Стойкость против:					
Обычной коррозии	2	1	3	4	5
Точечной коррозии	2	1	3	4	5
Междузеренного растрескивания	5	1	2	1	4
Внутризеренного растрескивания	4	1	2	1	5
Коррозии при период. Нагрузении	2	1	3	4	5
Стоимость	5	4	3	1	3

Сравнение стандартных дуплексных сталей

DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE
Providing special steel solutions



Сталь	Ni	Cr	Mo	N	PREN	Rp02, МПа	A, %	KV, Дж
1.4362 X2CrNiN23-4	4,2	22,3	0,3	0,12	26	450	45	320
1.4462 X2CrNiMoN22-5-3	5,3	22,3	2,7	0,15	34	550	40	320
1.4507 X2CrNiMoCuN25-6-3	6,3	25,3	3,5	0,23	41	620	35	300



Аустенитно-ферритные стали обладают более высокой прочностью чем аустенитные стали и более высокой вязкостью чем мартенситные => уникальная комбинация механических свойств

Они нечувствительны к коррозионному растрескиванию, в отличие от аустенитов

Они могут применяться при температурах от -50 до 300°C

Они обладают более высокой коррозионной стойкостью чем другие виды нержавеющей сталей

Они обрабатываются холодной и горячей деформациями, резанием, подвергаются сварке

Низкое содержание никеля делает их более привлекательными с экономической точки зрения чем аустениты



Спасибо за внимание

Денис Фофанов
+49 271 808 2208
denis.fofanov@dew-stahl.de

