

Rustfrit stål til kirurgiske dimser

Nyborg d. 5. maj 2025

Claus Qvist Jessen, kemiingeniør, ph.d.



1

Rustfrit stål til kirurgiske dimser; Nyborg d. 5. maj 2025



Rustfrit stål?

Hvad er rustfrit stål? Familier, mekaniske egenskaber og anvendelser.

Korrosion af rustfrit stål

Rustfrit stål er IKKE rustfrit, men kan korrodere. Især grubetæring er en fare ved kirurgisk dimser, så her kigges på korrosionsformer, ståltyper og de vigtigste miljøforhold.

Brugen af desinfektionsmidler

Hvorfor skal man passe på, hvis man desinficerer sine instrumenter kemisk??



2

1



🌀 **Civilingeniør (kemi-) og ph.d. fra DTU**

Årgang 1960; specialiseret i uorganisk kemi, metaller og metalkemi, elektrokemi, galvanoteknik, korrosion og korrosionsbeskyttelse.

🌀 **Tidligere ansat ved bl.a. FORCE Technology**

Siden 1991: Rådgivende ingeniør med speciale i rustfrit stål og korrosion.
Delforfatter til tre bøger om rustfrit stål, korrosion, overfladebehandling mm.



🌀 **Siden 2007: Damstahl a/s**

Fagligt bagland for kunder og sælgere: Skadesopklaring, materialevalg, reklamationer, skriftligt materiale, undervisning mm.
"Rustfrit stål og korrosion" (april + okt. 2011; DK, ENG, SE, D),
"Rustfrit stål til hygiejnisk udstyr i food/pharma" (okt. 2014; DK, ENG, SE)
"Overfladebehandling af rustfrit stål" (nov. 2016; DK, ENG)
"Rustfrit Stål – håndbog for nysgerrige" (marts 2018; DK, ENG, SE, D, FI)



3

Rustfri ståltyper

Familier og anvendelser



4

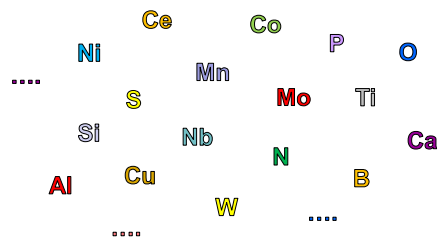
2

Rustfrit stål ??



DIN/EN 10020:

- ✓ Jernlegering (Fe)
- ✓ Mindst 10,5 % krom (Cr)
- ✓ Max 1,2 % kulstof (C)



5

Rustfrit stål



Stållegering:

Fe > 50 %, + Cr, Ni, Mo...
Umagnetisk
Korrosionsbestandig
Kan bukkes / svejses



6

3

Rustfrit stål



Austenitisk:

C < 0,08 % (< 0,03)
Cr 16-20 %
Ni 8-25 %
Mo 0-6 %

Martensitisk:

C 0,1-1,2 %
Cr 11-15 %
(Ni)
(Mo)

Duplex (F/A):

C < 0,03 %
Cr 22-25 %
Ni 2-7 %
Mo 0-4,5 %

Ferritisk:

C < 0,03 %
Cr 11-19 %
Ni 0!
Mo 0-2 %

Udskilleleshærd.:

C < 0,07 %
Cr 14-17 %
Ni 3-5 %
Cu 3-5 %



7

Rustfrit stål



Austenitisk:

"Tyggegummistål"
Svejsbare konstrukt.stål
God korrosionsbest.
70 % af RS world-wide

Martensitisk:

Hærdbare pga. C
Hårde og sprøde; knive
Kan ikke bukkes/svejses
Ringe korrosionsbest.

Duplex (F/A):

Tofaset Ferrit-Austenit
Resistent mod SPK
Mekanisk stærke
Svejsbare konstrukt.stål

Ferritisk:

Nikkelfri konstruktionsstål
God korrosionsbest.
Svejsbare
Lav og stabil pris!!

Udskilleleshærd.:

Hærdbare v. uopløselige
udskillelser (Cu el. Al)
OK korrosionsbestandigh.
Kæder og golfkøller



8

4

Stahlschlüssel / DIN 10088-2

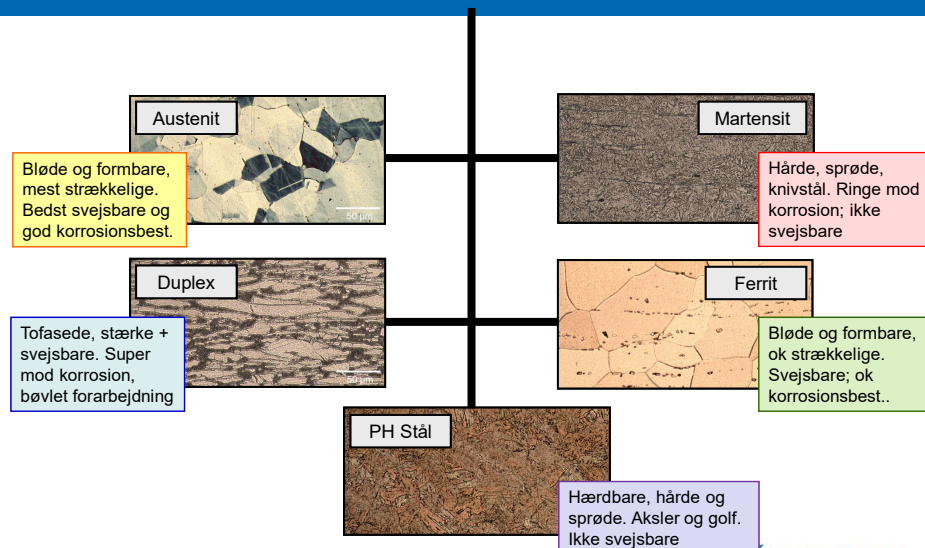


	EN 1.XXXX	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Si ≤ %	Mn ≤ %	S ≤ %	P ≤ %	Andet	AISI (UNS)	SS
Ferrit	4016	≤ 0,08	16,0-18,0	-	-	1,00	1,00	0,015	0,040	-	430	2320
	4509	≤ 0,030	17,5-18,5	-	-	1,00	1,00	0,015	0,040	Ti 0,10-0,60; Nb 3xC+0,30-1,00	UNS 43932	-
	4521	≤ 0,025	17,0-20,0	-	1,80-2,50	1,00	1,00	0,015	0,040	N ≤ 0,030; Ti 4(C+N)+0,15-0,80	444	2326
Mart.	4057	0,12-0,22	15,0-17,0	1,50-2,50	-	1,00	1,50	0,015	0,040	-	431	2321
	4104	0,10-0,17	15,5-17,5	-	0,20-0,60	1,00	1,50	0,15-0,35	0,040	-	(430F)	2383
Aust.	4301	≤ 0,07	17,5-19,5	8,00-10,5	-	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	304	2333
	4305	≤ 0,10	17,0-19,0	8,00-10,0	-	1,00	2,00	0,15-0,35	0,045	Cu ≤ 1,00; N ≤ 0,11	303	2346
	4306	≤ 0,030	18,0-20,0	10,0-12,0	-	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	304L	-
	4307	≤ 0,030	17,5-19,5	8,00-10,5	-	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	304L	2352
	4541	≤ 0,08	17,0-19,0	9,00-12,0	-	1,00	2,00	0,015	0,045	Ti (5xC)-0,70	321	2337
Aust. syre-fast	4401	≤ 0,07	16,5-18,5	10,0-13,0	2,00-2,50	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	316	2347
	4404	≤ 0,030	16,5-18,5	10,0-13,0	2,00-2,50	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	316L	2348
	4432	≤ 0,030	16,5-18,5	10,5-13,0	2,50-3,00	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	316L	2353
	4435	≤ 0,030	17,0-19,0	12,5-15,0	2,50-3,00	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	316L	2353
	4436	≤ 0,07	16,5-18,5	10,5-13,0	2,50-3,00	1,00	2,00	0,015	0,045	N ≤ 0,11	316	2343
	4571	≤ 0,08	16,5-18,5	10,5-13,5	2,00-2,50	1,00	2,00	0,015	0,045	Ti (5xC)-0,70	(316Ti)	2350
Duplex	4460	≤ 0,05	25,0-28,0	4,50-6,50	1,30-2,00	1,00	2,00	0,015	0,035	N 0,05-0,20	329	2324
	4462	≤ 0,030	21,0-23,0	4,50-6,50	2,50-3,50	1,00	2,00	0,015	0,035	N 0,10-0,22	-	2377

DAMSTAHL
NEUMÖ Eberberg Group

9

Mikrostrukturer



DAMSTAHL
NEUMÖ Eberberg Group

11

5

Anvendelser, oversigt



Austenit

Alls typer procesudstyr

70% 90%

Martensit

Instrumenter, knive, etc.

2% 2%

Duplex

Ekstreme forhold

3% 3%

Ferrit

Tyndplader

25% 5%

PH Stål

Golf?

~0% ~0%

70% = Verdensmarkedet

90% = Danmark



Kap. 2, s. 21

12

Anvendelser på hospitaler



Austenit

Alt tænkeligt grej, fra køkkenvaske og bækkener til skabe og autoklaver

Martensit

Pean'er, pincetter og andre kirurgiske instrumenter, knive, skalpeller og meget andet.

Kap. 2, s. 21



13

Korrosion af rustfrit stål

*Korrosionsformer, mekanismer,
legeringselementer, miljøforhold mm.*



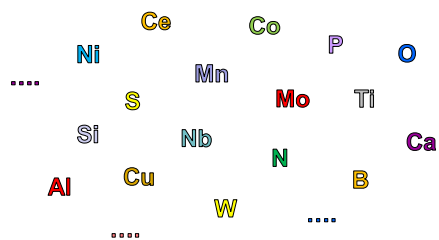
14

Rustfrit stål ??



DIN/EN 10020:

- ✓ Jernlegering (Fe)
- ✓ **Mindst 10,5 % krom (Cr)**
- ✓ Max 1,2 % kulstof (C)



Kap. 3.1, s. 34



15

7

Passivitet = uopløselige korrosionsprodukter

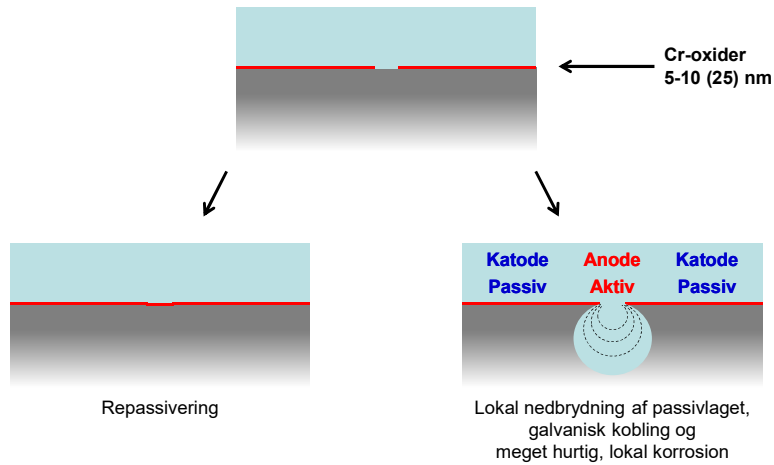
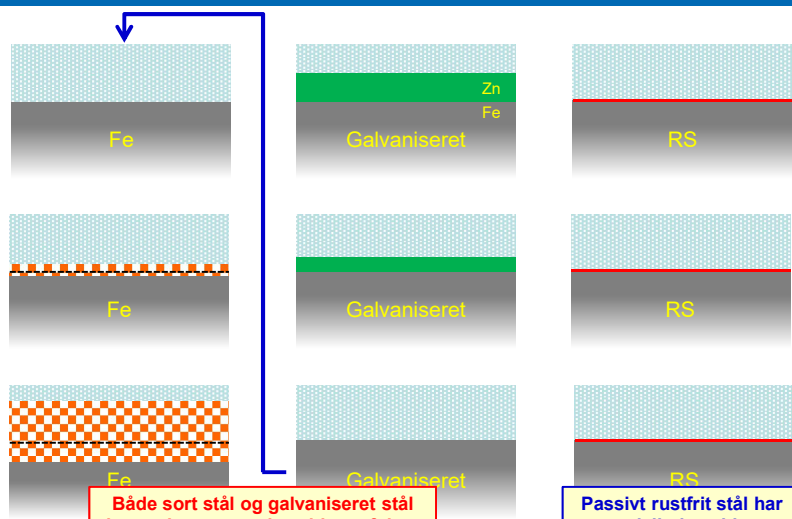


Fig. 3.3, s. 36



16

Jern, galvaniseret og rustfrit

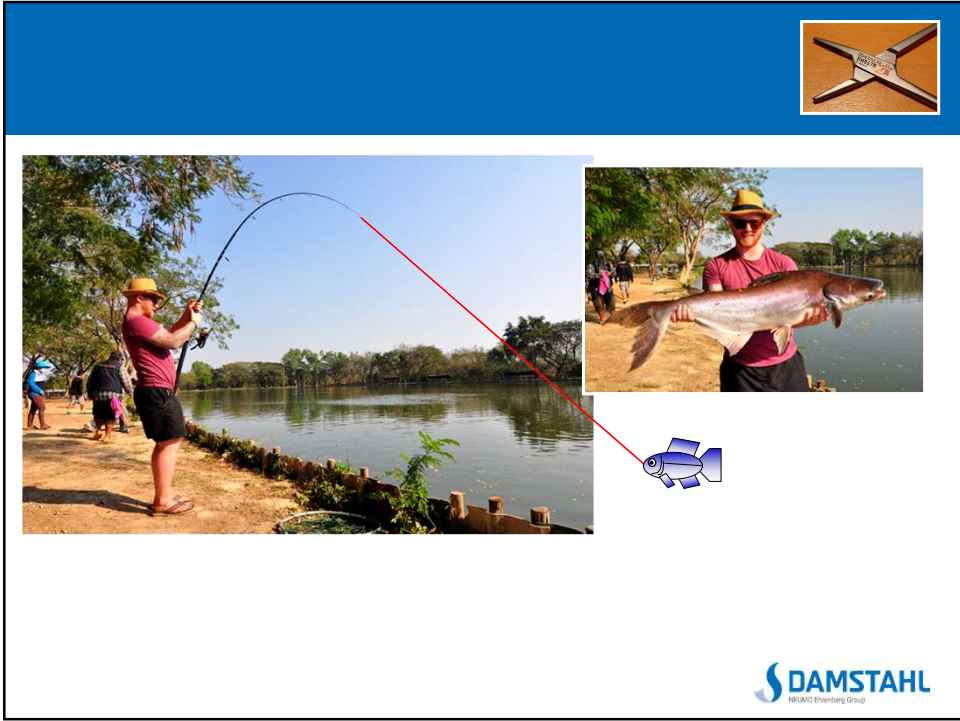


Både sort stål og galvaniseret stål har en begrænset levetid og afgiver tungmetaller til mediet.

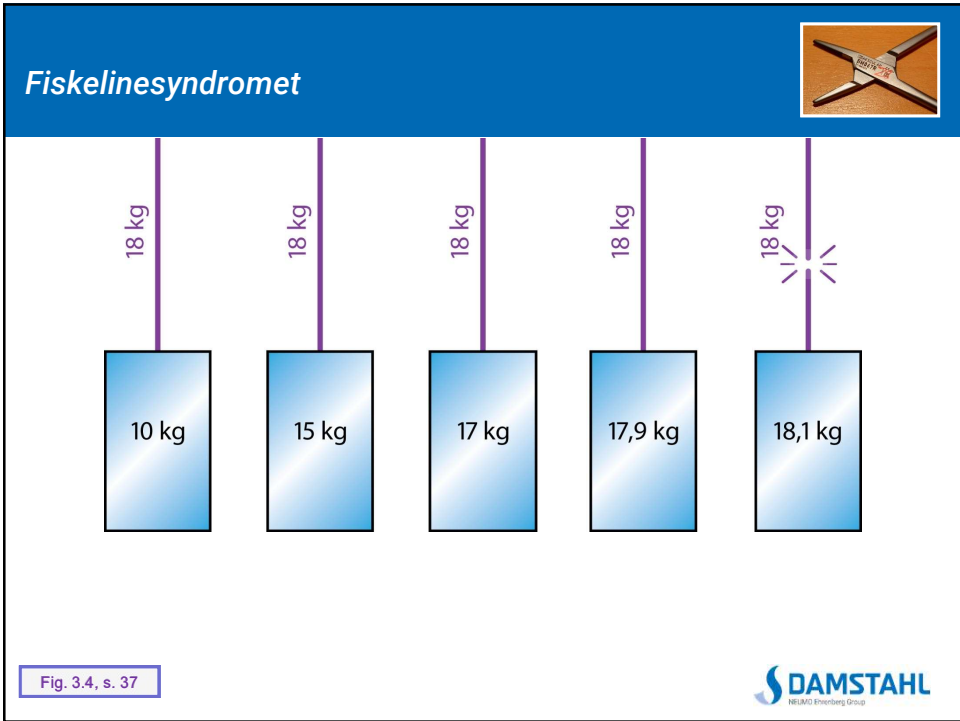
Passivt rustfrit stål har uendelig levetid og afgiver intet.



17



18



19

Fiskelinesyndromet

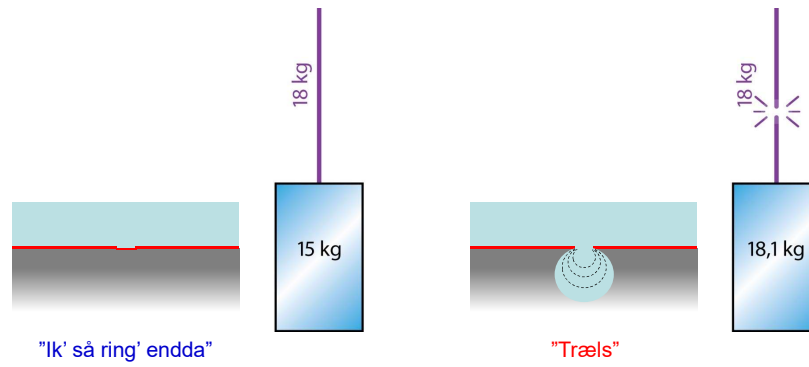
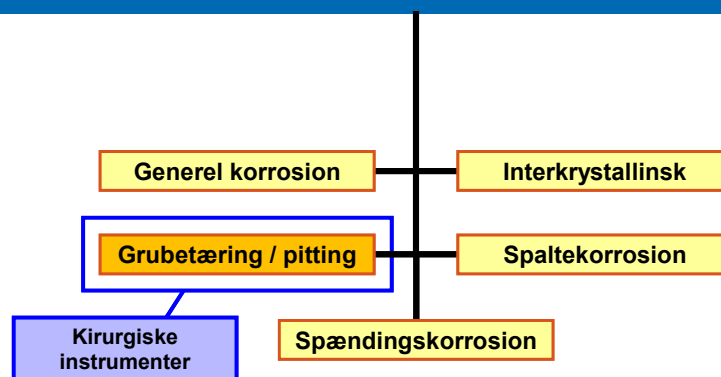


Fig. 3.4, s. 37



20

Korrosionsformer, RS



Kap. 3.3, s. 38



22

10

Grubetæring / spaltekorrosion



- ☞ Vand; pH = "neutral" = 2–12
- ☞ Lokal nedbrydning af oxidlaget
- ☞ Lokal anodereaktion (metalopløsning);
Katode (fx iltforbrug) over det hele
- ☞ Lille anode, stor katode
"Intern galvanisk korrosion"
= hurtig, punktformig korrosion
- ☞ Små materialetab, hurtig gennemtæring
- ☞ Fiskelinekorrosion!
Enten sker der korrosion og hurtig gennemtæring
(1-2 mm/måned), eller også holder stålet evigt *uden korrosion overhovedet*.
- ☞ Særdeles almindelig korrosionsform
- ☞ Bekæmpelse: Korrosionen må ALDRIG starte.
Maksimér Cr, Mo, N (og Ni).



Kap. 3.5, s. 42

DAMSTAHL
NEAMO Enerberg Group

23

Grubetæring (pitting)



4301-plade (t = 0,5 mm) efter simpel korrosionstest:
En sur opløsning af NaCl + H₂O₂; 20 °C, 4 døgn

Fig. 3.8, s. 42



Hvorfor er korrosionen sket lige dér?

Lokal svaghed!

Stålet er aldrig 100 % homogent, hverken kemisk eller fysisk. Ikke-metalliske indeslutninger = øv!
Korrosionsbestandigheden er afhængig af lokale svagheder – kædens "svageste led".

DAMSTAHL
NEAMO Enerberg Group

24

11

Grubetæring (pitting)



Grubetæring i tank af 4307 udsat for lunkent postevand



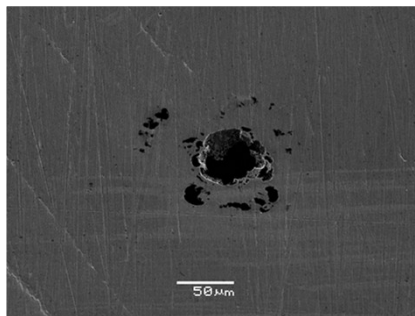
Grubetæring i 4307-rør (udefra). Røret har været brugt som "sugerør" i brøndvand

Kap. 3.5, s. 42

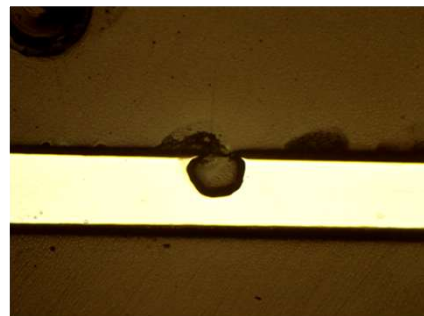
DAMSTAHL
NEMO Enerberg Group

25

Grubetæring (pitting)



Elektronmikroskopfoto af grubetæring i 4404; Bemærk det lokale angreb og den store, passive overflade



Mikroslib gennem grubetæring i 4301; Bemærk det meget lokale angreb. Hovedparten af overfladen er passiv

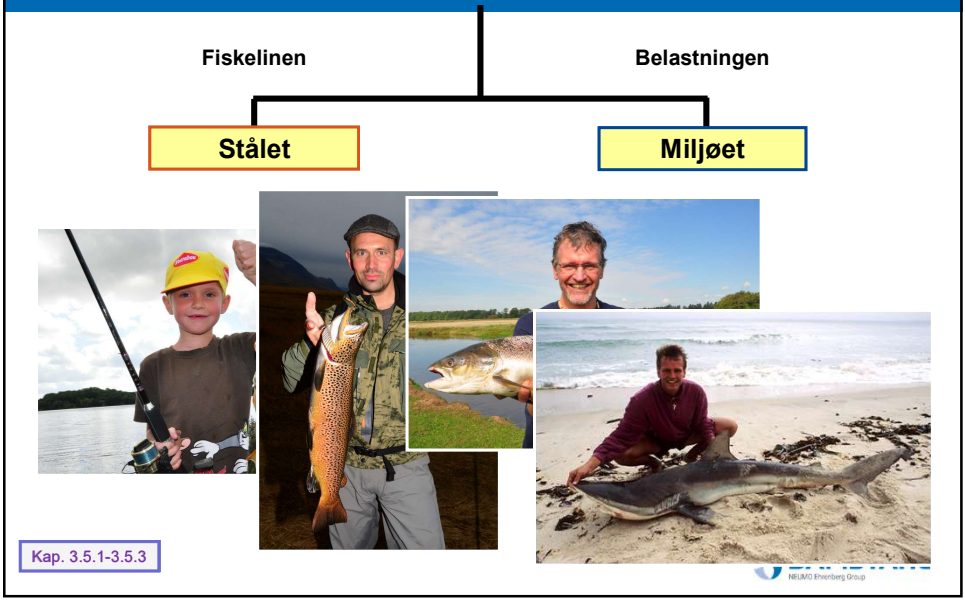
Kap. 3.5.1-3.5.3

DAMSTAHL
NEMO Enerberg Group

26

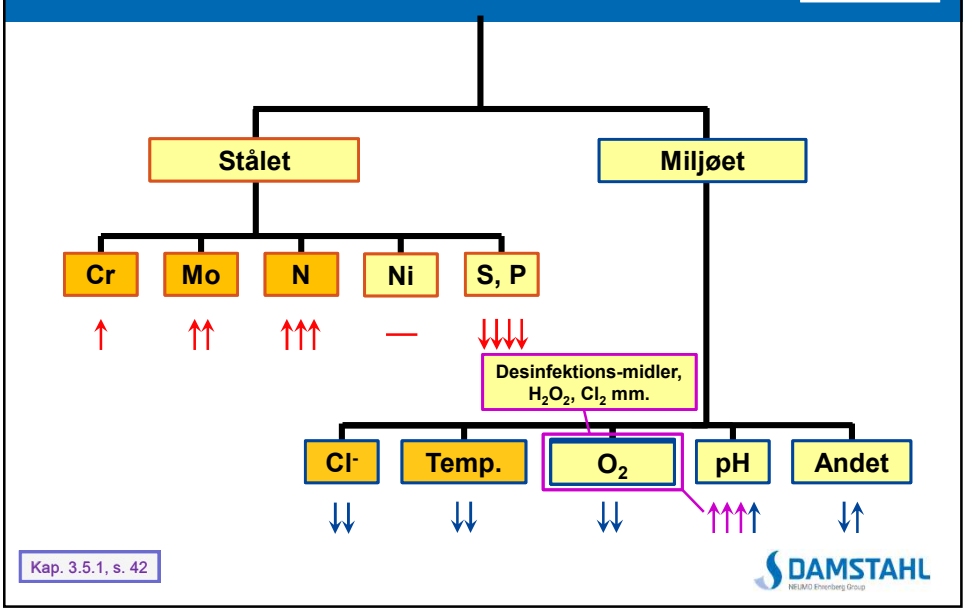
12

Grubetæring (pitting)



27

Initiering af grubetæring / pitting



28

Pitting Resistance Equivalent (PREN)



PREN

= bestandighed mod grubetæring
= fiskelinens brudstyrke

$$\%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 16 \cdot \%N$$

Jo højere PREN, jo bedre resistens
mod grubetæring og spaltekorrosion.

To stål med samme PREN har ca.
samme bestandighed mod
grubetæring og spaltekorrosion

Austenit	Martensit	
Ferrit	Duplex	Nikkelleg.

Tabel 3.1, s. 45

EuroNorm (EN)	Cr	Mo	N	PREN
2.4819 / Hastelloy C276	15	16	-	67,8
1.4547 / 254 SMO	20	6,2	0,2	43,7
1.4410 ("superduplex")	25	4,5	0,3	43,0
1.4462 (UNS S32205)	22	3,0	0,15	34,3
1.4539 / 904L	20	4,0	-	33,2
1.4462 (UNS S31803)	21	2,5	0,10	30,9
1.4436 / 4432	16,5	2,5	-	24,8
1.4362 (duplex 2304)	23	-	0,10	24,6
1.4162 (lean duplex 2101)	21	0,1	0,20	24,5
1.4401 / 4404 / AISI 316(L)	16,5	2,0	-	23,1
1.4571 ("AISI 316Ti")	16,5	2,0	-	23,1
1.4521 / AISI 444	17	1,8	-	22,9
1.4301 / 4307 / AISI 304(L)	17,5	-	-	17,5
1.4509 / AISI 441	17,5	-	-	17,5
1.4016 / AISI 430	16	-	-	16,0
1.4057 / AISI 431 (0,12-0,22 C)	15	-	-	15,0
2.4816 / Inconel 600 (72 Ni!)	14	-	-	14,0
1.4021 (0,16-0,25 C)	12	-	-	12,0
1.4003 / AISI 410	11	-	-	11,0

↑
Pris!!!
↓

29

Kritisk Pitting Temperatur (CPT)

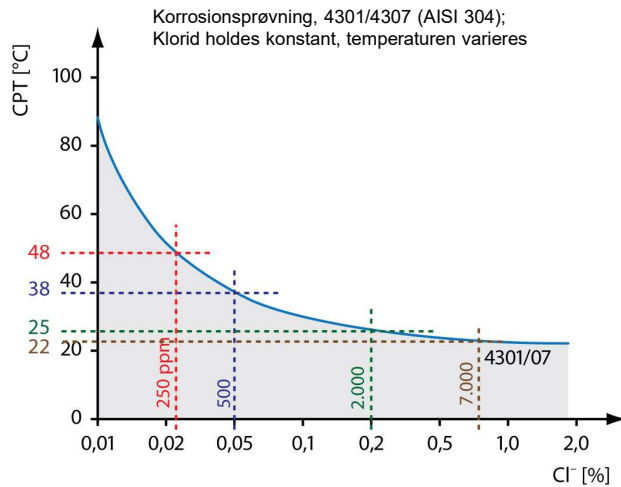


Fig. 3.11, s. 47

DAMSTAHL
NISCOR Thuring Group

30

14

Kritisk Pitting Temperatur (CPT)

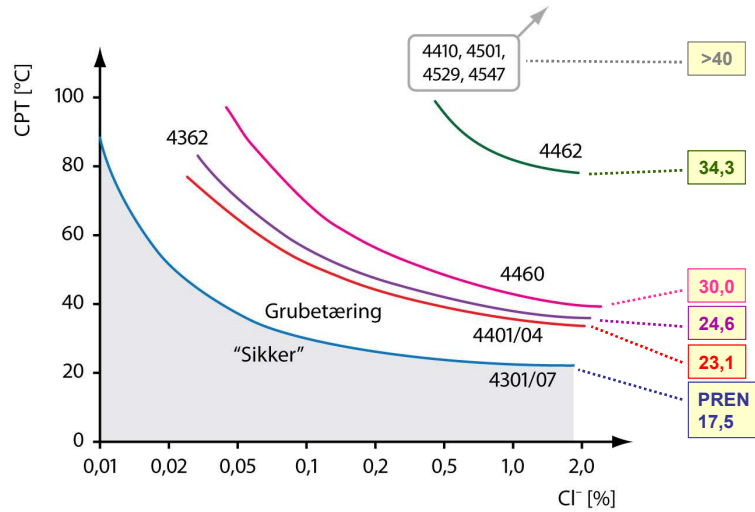
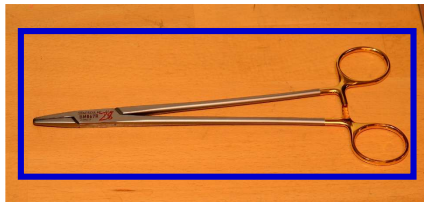


Fig. 3.11, s. 47



31

Martensitiske knivstål / kirurgiske instrumenter



- ⊗ Ringe indhold af Cr, intet Mo, intet N
- ⊗ Stålet kan *ikke* hærdes med > 15 % Cr
- ⊗ Højt indhold af C spiser en del af stålets Cr – dvs. reduceret Cr i.f.h.t. "brutto"
- ⊗ 12-15 % Cr + 0 % Mo + 0 % N:
PREN_{brutto} = 12-15; PREN_{netto} = 9-12
- ⊗ Alvorlig risiko for grubetæring (flyverus!)

Tabel 3.1, s. 45

EuroNorm (EN)	Cr	Mo	N	PREN
2.4819 / Hastelloy C276	15	16	-	67,8
1.4547 / 254 SMO	20	6,2	0,2	43,7
1.4410 ("superduplex")	25	4,5	0,3	43,0
1.4462 (UNS S32205)	22	3,0	0,15	34,3
1.4539 / 904L	20	4,0	-	33,2
1.4462 (UNS S31803)	21	2,5	0,10	30,9
1.4436 / 4432	16,5	2,5	-	24,8
1.4362 (duplex 2304)	23	-	0,10	24,6
1.4162 (lean duplex 2101)	21	0,1	0,20	24,5
1.4401 / 4404 / AISI 316(L)	16,5	2,0	-	23,1
1.4571 ("AISI 316Ti")	16,5	2,0	-	23,1
1.4521 / AISI 444	17	1,8	-	22,9
1.4301 / 4307 / AISI 304(L)	17,5	-	-	17,5
1.4509 / AISI 441	17,5	-	-	17,5
1.4016 / AISI 430	16	-	-	16,0
1.4057 / AISI 431 (0,12-0,22 C)	15	-	-	15,0
2.4816 / Inconel 600 (72 Ni)	14	-	-	14,0
1.4021 (0,16-0,25 C)	12	-	-	12,0
1.4003 / AISI 410	11	-	-	11,0



32

15

Martensitiske knivstål

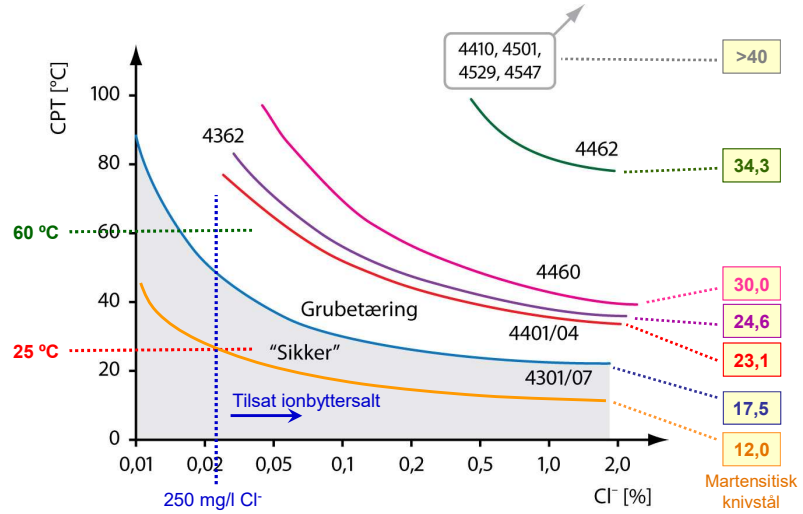
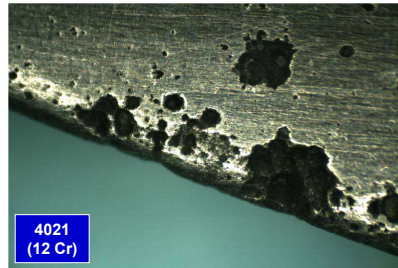
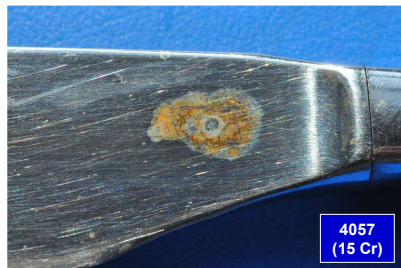


Fig. 3.11, s. 47

DAMSTAHL
NEUMO Thuring Group

33

Martensitiske knivstål / kirurgiske instrumenter



- 🌀 **Overtro:** "Flyverust"
- 🌀 **CQJ:** "Fordi Pitting Resistance Equivalent (PREN) for et martensithærdet knivstål er utilstrækkelig til at modstå grubbetæring i stålet pga. den hidsige kombination mellem klorid og høj temperatur". 4301 er klart mere bestandigt.
- 🌀 **Forebyggelse:** Lavere klorid – opvask i destilleret vand
Lavere temperatur
Kortere TID!

Fig. 3.13, s. 49

DAMSTAHL
NEUMO Thuring Group

34

16

Martensitiske k





➤ Kat-ionbyttet postevand
➤ 80 °C
➤ 5 minutter!

Kortere TID!

Overtro:

CQJ:

Forebyggelse:


lem
gt.

Fig. 3.13, s. 49



35

Korrosion / rustfrit stål




- ⊗ **RS er et passivérbart materiale**
 Korrosionen afhænger af få nm Cr-oxider

← Fiskelinekorrosion!
- ⊗ **Generel korrosion / syrekorrosion**
 Kun i meget stærke syre eller baser
 Jævnt angreb over hele overfladen
 Store materialetab – lang tid til gennemtæring


← Uden betydning ved andet end meget stærke syrer
- ⊗ **Interkrystallinsk korrosion**
 Antik korrosionsform ; angreb i korngænserne
 Små materialetab, lang tid til gennemtæring

← Køb lavkulstofstål!

⊗ **Grubetæring / spaltekorrosion / spændingskorrosion**
 Fiskelinekorrosion; lokale angreb over en lille del af stålet
 Små materialetab, men kort tid til gennemtæring



PREN, kurver, tabeller og en masse erfaring 😊
 Korrosionen må **aldrig** starte



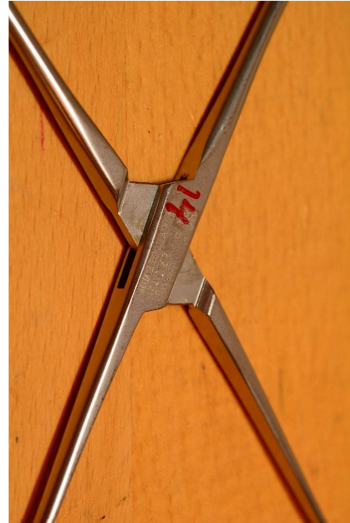
Kap. 3.3, s. 38

36

Kirurgiske instrumenter



- ☉ Stålet skal være hård (dvs. hærdbart).
- ☉ Instrumenterne kan IKKE laves af en af de bløde, formbare typer (austenit, ferrit mm.).
- ☉ Man er derfor tvunget til at anvende et stål med ringe korrosionsbestandighed.
- ☉ Man skal passe meget på miljøet. Undgå klorid, høj temperatur og skrappe desinfektionsmidler.
- ☉ Hold tiden kort!



DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

Kap. 4.3, s. 68

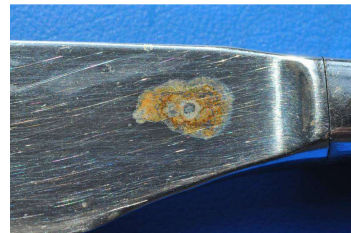
37

Korrosion / rustfrit stål



TID!

- **Alle data / kurver stammer fra langtidsforsøg**
- **Langtidspåvirkninger er *altid* værre end korttidseksposering**
- **Praksis ofte *bedre* end teorien, hvis man kan holde tiden kort (fx "flyverust" på knivene)**



Kap. 4.3, s. 68

DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

38

18

Brugen af desinfektionsmidler

Hvorfor er desinfektionsmidler så farlige?



39

Kritisk Pitting Temperatur (CPT)

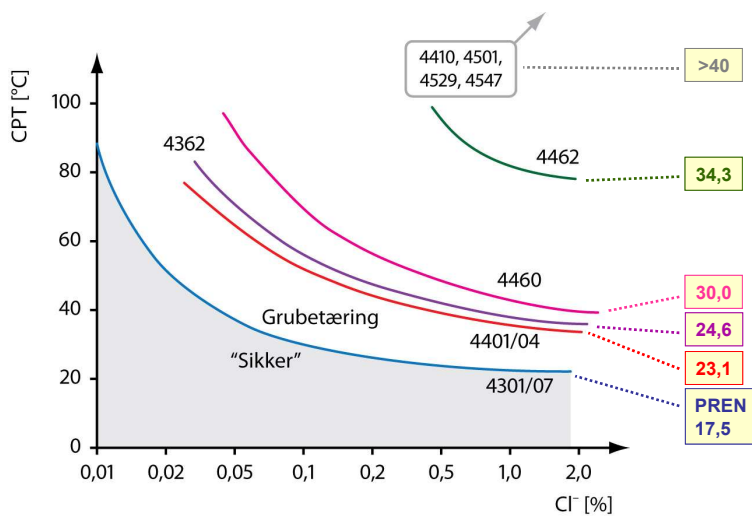


Fig. 3.11, s. 47



40

19

Kritisk Pitting Temperatur (CPT) vs. korrosionspotentialet (E_{corr})

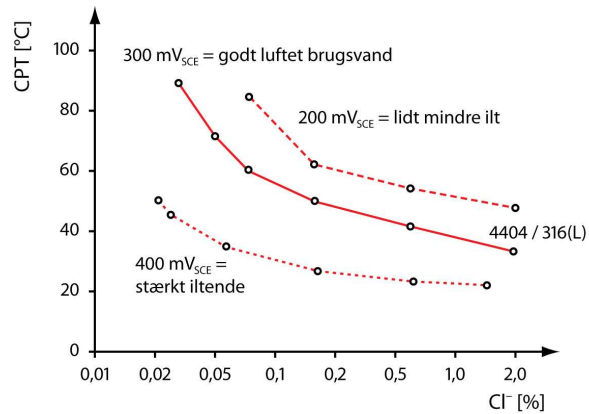


Fig. 4.6, s. 30

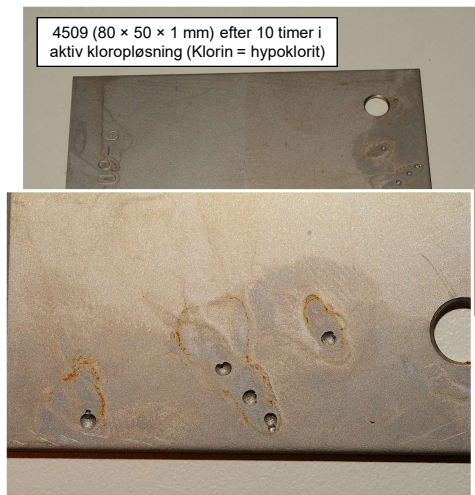
DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

41

Desinfektionsmidler = stærke oxidanter



- De fleste desinfektionsmidler indeholder stærke oxidanter som fx peroxid, pereddikesyre, hypoklorit, aktivt klor, klorit, ozon etc.
- Alle disse stoffer fungerer som effektive elektronacceptorer = katode for korrosion.
- Den effektive katode booster korrosionspotentialet kraftigt opad = no good.
- De fleste rustfri standardstål kan ikke holde til disse stærke oxidanter, hvis der er klorid i suppen.
- For at undgå tæringer skal kontakttiden holdes nede på få minutter. Husk at dræne/flushesystemet bagefter.



DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

42

20

Desinfektionsmidler = stærke oxidanter



Grubetæring i en studs (4404) fra en varmeveksler med varm ketchup.

De *meget tætsiddende pits* indikerer et meget korrosivt medium, mens manglen på gennemtæring viser *kort kontaktid*.

Synderen er sandsynligvis et oxiderende desinfektionsmiddel som hypoklorit eller peroxid.

Ch. 3.5, p. 42

DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

43

Rengøring af kirurgiske instrumenter



	Sure pH < 2	Alkaliske pH > 10	Neutrale pH 5-9	Klor / hypoklorit	Peroxid / brintoverilte
Rustfrit stål, martensitisk	(X)	X	X	(X)	(X)
Rustfrit stål, austenitisk	X	X	X	(X)	(X)
Aluminium (Al)	÷	÷	X	÷	÷
Titan (Ti)	X	X	X	X	÷

X : Kan tåle langtidseksponering. Desværre ingen garantier!

(X) : Kun korttidseksponering. Langtidspåvirkning skal undgås.

÷ : Må ikke anvendes. Nærmest garanti for alvorlige korrosionsskader.

DAMSTAHL
NEUMO Eberberg Group

44

21

Rengøring af kirurgiske instrumenter



- Blod, vævsrester, fastsiddende skidt, klorid mm.
- Vand (postevand, ≤ 250 mg/l Cl⁻)
- Temp. mellem 20 og 120 °C; jo højere temperatur jo værre
- Sæber, detergenter, enzymer, sure eller alkaliske midler
- Stærke oxidanter; ofte peroxid eller klor. Enzymer er *ikke* farlige
- Oftest korttidspåvirkninger
- Langtids-iblødsætning mulig, men kun i meget milde opløsninger.



45

Kontaktinformation



Damstahl a/s

Danmarksvej 28; 8660 Skanderborg, Danmark
www.damstahl.dk / damstahl@damstahl.com
(+45) 8794 4000

Salg, priser, leveringsforhold etc.

Michael Christensen

(Salgsdirektør)
mmc@damstahl.com
(+45) 2949 3640

Teknisk support, inspektion & detektivarbejde

Claus Qvist Jessen

(kemiingeniør, ph.d., rustfri nørd)
cqj@damstahl.com
(+45) 8794 4045
(+45) 2126 8202



YouTube



LinkedIn



Facebook



46

22