

Konstrukční materiály pro stavbu kotlů

● Hlavní materiály pro stavbu kotlů jsou:

- materiály kovové
 - trubky
 - prvky nosné konstrukce
- materiály keramické
 - šamotové cihly,
 - šamotové tvarovky
 - žárobeton

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

1

Keramické materiály

- využívá se jejich
 - vysoké žáruvzdornosti a žárupevnosti
 - dobrých izolačních vlastností (relativně malé tepelné vodivosti),
 - omezují tepelné ztráty,
 - snižují tepelné toky, a tím omezují tepelné namáhání kovových konstrukčních prvků
 - mohou být užity i v případech, kdy je žádoucí omezit vychlazení ohniště
 - odolnost proti chemickému působení strusky (u výtavných ohnišť),
 - odolnost proti abrazi popelovými částicemi,
 - proti teplotovým skokům (vzdávky hořáků).
- je třeba respektovat jejich tepelnou roztažnost provedením dilatačních spár s vhodným plnicím resp. těsnícím materiálem
- používají se
 - jako stavební a současně tepelně izolační prvek
 - pouze jako tepelně izolační prvek –
 - vláknité - strusková, skelná nebo minerální vata
 - pěnové materiály

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

2

Kovové materiály

- jsou používány
 - pro stavbu nosných konstrukcí, galerií, oplechování - pracují za normálních teplot
 - na stavbu ohnišť a vlastního výměníkového systému - součásti jsou tepelně a tlakově namáhány
- teplotové namáhání souvisí s jevy jevy jako tečení materiálu, tepelná únava, zvýšená oxidace povrchu (opal) apod.
- ČSN 42 0090 „Materiál pro tepelná energetická zařízení“.
 - obsahuje materiály pro stavbu kotlů, parních a spalovacích turbin, spojovacích potrubí a armatur
 - neplatí pro součásti primárních okruhů jaderných energetických zařízení
 - odděleně jsou uvedeny materiály pro různé polotovary
 - jiné materiály lze užít projednání s Českým úřadem bezpečnosti práce.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

3

Specifické mechanismy namáhání kovových materiálů pro stavbu kotlů

- tečení
- únava materiálu
 - nízkocyklová
 - vysokocyklová
 - tepelná

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

4

Tečení

- Plastická deformace
 - za studena
 - je závislá pouze na napětí
 - vznikne od určitého menšího napětí okamžitě se zatížením
 - s časem se nemění
 - za vyšších teplot
 - vzniká při jakkoli nízkém napětí
 - s časem vzrůstá
- Časově závislý nárůst deformace při konstantním napětí se označuje jako tečení nebo creep.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

5

Tečení

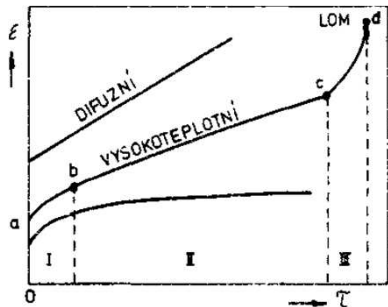
- Podle charakteru časové závislosti deformace při konstantním napětí a teplotě rozeznáváme
 - nízkoteplotní tečení
 - vyznačuje se malou deformací, tj. $\epsilon > 10^{-3}$
 - uplatňuje se při teplotách pod $0,3 T_i$ (teploty tání),
 - vysokoteplotní tečení, ke kterému dochází při zvýšení teploty nad $(0,3 \text{ až } 0,4) T_i$
- Někdy se ještě rozlišuje
 - tzv. difúzní tečení, (při teplotách nad $0,9 T_i$)
 - anelastické tečení - je důsledkem redistribuce intersticiálních atomů (uhlíku, dusíku) do poloh energeticky výhodnějších

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

6

Tečení



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

7

Tečení

- technicky významné je především vysokoteplotní tečení - vede při dostatečně vysoké teplotě po určité době k lomu
- průběh deformace při vysokoteplotním tečení $\varepsilon = f(\tau)$ lze po úsecích aproximovat vztahem $\varepsilon = a\tau^n$
 - 3 stádia :
 - první neustálé stadium tečení *a-b* je charakterizováno postupně se zmenšující rychlostí deformace - $n < 1$.
 - druhé tzv. konstantní stadium tečení *b-c* - rychlost tečení $d\varepsilon/dt = \text{konst.}$, resp. $\varepsilon = a\tau$, tj. $n = 1$.
 - ve třetím stadiu tečení *c-d* dochází ke vzrůstu rychlosti deformace a proces končí lomem ($n > 1$).
- tečení je stochastický proces a nelze tudíž jednoznačně v daném konkrétním případě stanovit jeho průběh, lze pouze odhadnout pravděpodobnou hodnotu

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

8

Deformace a lomy při tečení

- tečení je to plastická deformace, která postupně narůstá a poškozuje materiál
- dochází
 - k deformaci vlastních zrn
 - ke změnám jejich vzájemné polohy, tj. k pokluzům na jejich hranicích
- Celková deformace ε_c je součtem obou složek,

$$\varepsilon_c = \varepsilon_z + \varepsilon_p$$
- Deformace a tudíž i lom mohou mít odlišný charakter v závislosti na napětí a teplotě:
 - velké σ = krátká doba do lomu = lom má převážně transkrystalický charakter, tj. převažuje složka ε_z .
 - malé σ = při dlouhých časech do lomu a nižších rychlostech tečení = interkrystalický lom = převažuje složka ε_p .
- interkrystalický lom má při tečení převažující význam

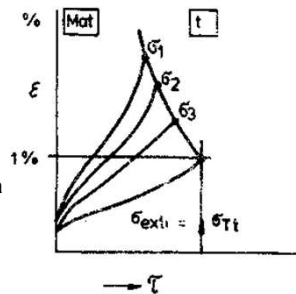
13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

9

Křivka tečení

- závislost trvalé creepevé deformace na čase
- křivka platí pro daný materiál, dané napětí a teplotu
- extrapolací stanovuje mez tečení σ_{Tt} , tj. napětí, při němž trvalá deformace dosáhne za zvolenou dobu, např. $\tau = 100\,000$ h určité stanovené velikosti (např. 1%)



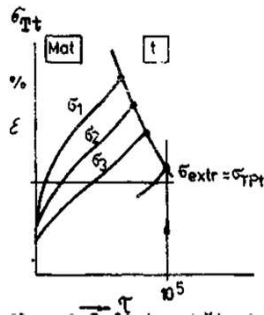
13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

10

Křivka tečení

- zkoušky tečení lze vést až do přetržení
- lze pro danou konstantní teplotu pro různá napětí vést spojnicí bodů času do přetržení
- mez pevnosti při tečení σ_{Tt} = extrapolované napětí, které pro zvolenou, obvykle delší dobu, např. $\tau = 10^5$ h, vede při dané teplotě k přetržení tyče



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

11

Možnosti zlepšení odolnosti materiálu proti tečení

- z hlediska vlastností materiálu
 - převažuje interkrystalický lom
 - nejnovější snahy o zlepšení vlastností při tečení sledují právě možnost zpevnění hranic zrn
 - dosahuje se toho často zcela nepatrnými přísadami některých prvků jako např. Ca, Ce, La aj, které vážou škodlivé prvky, mezi něž patří S, Pb, As, Sb atd., na stabilní sloučeniny, které se již nemohou vylučovat na hranicích zrn
 - dále je možno přidávat prvky jako B, Zr apod., které samy jsou schopny naopak vyplňovat mřížkové defekty na hranicích zrn a tím zvýšit jejich pevnost

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

12

Možnosti zlepšení odolností materiálu proti tečení

- z hlediska konstrukčního a technologického provedení komponent
- riziko lomu zvyšují
 - jakákoli přídavná vnitřní pnutí vyvozená tepelným zpracováním, obráběním, svařováním či tepelnými dilatacemi v provozu.
 - koncentrátoři napětí - vyvolávají lokální napětí
 - konstrukčního původu (otvory, vruby, náhlé změny průřezu),
 - technologického původu (risky, povrchové defekty od obrábění, drobné vady odlitků),

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

13

Únava materiálu

- vzniká působením časově proměnného napětí cyklického charakteru
- napětí se může měnit pravidelně, často se však v praxi mění nepravidelně
- Rozlišujeme
 - napětí střídavé (mění se od tahu do tlaku),
 - míjivé (mezi nulou a určitou hodnotou tahu či tlaku)
 - pulsující
- Cyklické napětí může být vyvoláno např.
 - proměnlivými vnějšími silami při otáčení zatíženého hřídele
 - rychlými cyklickými změnami teploty, kdy mluvíme o tzv. tepelné únavě
- Zvláště nebezpečná mohou být namáhání o stejné budící frekvenci s frekvencí volného kmitání součástí, kdy dojde k rezonanci.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

14

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

● Liší se

- počtem cyklů
- napětím
 - při vysokocyklové únavě napětí leží vždy pod mezí kluzu a plastické deformace jsou velmi malé
 - při nízkocyklové únavě je tomu naopak

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

15

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

- při nízkocyklové únavě zasahuje namáhání do oblastí plastických cyklických deformací
- cyklické namáhání lze označit pojmem cyklického napětí σ_c
- namáhání není možno definovat pouze napětím, neboť při téměř napětí může být plastická deformace velmi rozdílná
- formálně lze užít pojmu ideálního napětí σ_i , které je dáno vztahem

$$\sigma_i = \varepsilon E$$
- správnější charakteristickou veličinou je cyklická plastická deformace ε_p nebo její rozkmit $\Delta\varepsilon_p$
- pro závislost mezi počtem cyklů do lomu N_F a $\Delta\varepsilon_p$ platí klasický vztah Manson-Coffinův ve tvaru

$$\Delta\varepsilon_p \cdot N_F^\alpha = C$$

kde exponent α má hodnotu 0,5 až 0,6

C je materiálová konstanta, související se skutečnou tažností materiálu.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

16

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

- můžeme rozlišovat 2 fáze únavového procesu a to:
 - vznik aktivní trhliny
 - růst lomové trhliny končící lomem
- počet cyklů N_o do vzniku aktivní trhliny je možno určit podle vztahu

$$N_o = N_F - 14 \cdot N_F^{0,6}$$

Numerickým rozborem tohoto vztahu zjistíme, že

- u nízkocyklové (a tepelné) únavy
 - vzniká trhlina velmi brzy, např. pro $N_F = 1000$ je $N_o = 116$
 - většinu života součásti tvoří fáze růstu trhliny
 - vznik trhliny sám o sobě není ještě důvodem k odstavení a opravě zařízení
- u vysokocyklové únavy
 - pro $N_F = 10^7$ dostaneme $N_o = 9,77 \cdot 10^6$ a $N_o/N_F = 0,977$,
 - po vzniku aktivní trhliny dojde k poruše již relativně velmi brzy

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

17

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

- formulace vztahů pro růst trhliny je velmi obtížná
- rychlost je závislá
 - na amplitudě cyklického namáhání
 - bývá proměnná
 - její skutečný průběh v provozu je málo znám
 - na superpozici dílčích poškození
- proto je výpočet růstu trhlin velmi obtížný
- prakticky se odolnost proti cyklickému napětí zjišťuje zkouškami únavy = experimentální vyšetřování závislosti
 - cyklického napětí σ_c ,
 - počtu cyklů do lomu N_F ,
 - superponovaného středního napětí σ_m ,
 - teploty

13.12.2019

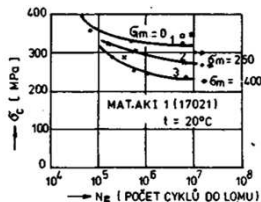
Stavba kotlů - přednáška č. 12

18

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

- Výsledky zkoušek se vynášejí dvěma způsoby a to ve tvaru:

- Wohlerových křivek, tj. čár v souřadnicích N_F (osa x) - σ_c (osa y) pro σ_m a $t = \text{konst.}$
- pro určité $\sigma_{c, \text{min}}$ nedojde k poruše ani po libovolně velkém počtu cyklů a toto napětí označujeme jako tzv. skutečnou mez únavy.



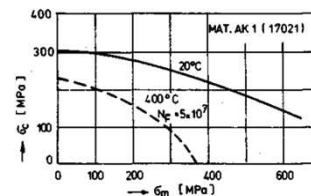
13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

19

Vysokocyklová a nízkocyklová únava

- v tzv. Haighově diagramu, tj. čarami v souřadnicích σ_m , σ_c (tedy záměna N_F za σ_m), pro N_F a $t = \text{konst.}$



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

20

Tepelná únava

- teplota součástí se za provozu může periodicky měnit :
 - pozvolné teplotní změny - nevznikají přídavná pnutí a výsledný účinek lze posuzovat jako souhrn dílčích poškození tečením, který se projevuje zkrácením životnosti
 - rychlé změny teploty - vyvolávají teplotová pnutí, která mohou vést až k plastickým deformacím a v podstatě při periodickém opakování opět k nízkocyklové únavě.
- pokud materiál součásti nesnáší vyšší deformaci může se při velmi malém teplotním rozdílu překročit i mez pevnosti
 - např. šedá litina $\sigma_p = 160 \text{ MPa}$ se dosáhne při $\Delta T = 155 \text{ K}$ (vyskytuje se u roštnic ap.) - únavové trhliny zde vznikají již při $\Delta T = \pm 50 \text{ K}$.
- u parních kotlů jsou tepelnou únavou nejvíce ohroženy
 - parní bubny poblíž nátrubků zavodňovacích trubek,
 - přehříváky s vodními zátkami,
 - špatně zavodněné varnice (špatná cirkulace),
 - výparníky průtočných kotlů, u nichž by se objevily mezihadové pulzace či sedlová charakteristika varnice
 - u vstříkových chladičů přehřáté páry
- teplotní pnutí a jeho pulsace mohou vzniknout též spojením dvou materiálů o rozdílném součiniteli roztažnosti

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

21

Obecné požadavky na kovové materiály pro stavbu kotlů

Požadované materiálové vlastnosti jsou :

- Žáropevnost = odolnost proti porušení za tepla
 - vyjadřovaná obvykle mezí pevností v tečení či průtahu za tepla
 - žáropevnost u perlitických materiálů lze zvětšit
 - legováním např. Mo, dále pak V a W,
 - tepelným zpracováním např. zušlechťováním materiálu (plechy)
 - změnou struktury mřížky materiálu, tj. přechodem na vhodné typy austenitů.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

22

- Korozivzdornost a opaluvzdornost (žárovzdornost), = odolnost proti chemickému a elektrochemickému napadení povrchu kovu
 - lze ji dosáhnout především legováním Cr evtl. Si a Al.
 - kotlové žárovečné feriticko perlitické oceli jsou kromě Mo evtl. V či W téměř vždy legovány chromem
 - chrom sice koroduje rychleji než železo a vznikne Cr_2O_3 ,
 - Cr_2O_3 spolu s oxidem železnatým dává spinel označený vzorcem $\text{FeO}(\text{FeCr})_2\text{O}_3$ - tvoří pevný neodlupující se povlak, který značně snižuje difúzní rychlosti jak O_2 tak Fe a Cr
 - obsah Cr pod 2% poskytuje poměrně malý ochranný účinek
 - výrazný účinek Cr se objeví až u 12%-ních chromových ocelí
 - výraznějším legováním Si nebo Al (2 až 3 %) lze již při obsahu 6% Cr dosáhnout podstatného snížení opalu = použitelnost pro stavbu kotlů omezená, jelikož nevyhovují z dalších hledisek
 - ostatní obecně užívané postupy jako je ochrana povrchu povlaky či katodová ochrana nepřicházejí v úvahu
 - je třeba pokusit se upravit vlastnosti prostředí, v němž materiál pracuje, tj. zvláště na straně vody, která nesmí obsahovat korozní činidla jako je O_2 a CO_2 (musí být odplyněná).

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

23

- Odolnost proti erozi = proti abrazi popílkovými částicemi u ohříváků vody evtl. přehříváků práškových kotlů

- nelze řešit volbou materiálu
- problém se řeší
 - předimenzováním tloušťky stěny trubek proti pevnostnímu výpočtu
 - snahou o minimalizaci abrasivního účinku popílkových částic
 - volbou nižších rychlostí spalin,
 - uspořádáním trubek ve svazku za sebou,
 - snahou o zrovnoměrnění koncentrace popílku v celém průřezu tahu
 - krytím rizikových částí svazků jako jsou první řady a kolínka apod.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

24

● **Odolnost proti křehkému lomu = náhlá porucha bez měřitelné plastické deformace probíhající většinou za nízkých teplot**

- u kotlů hrozí převedším při tlakové zkoušce
- riziko křehkého lomu podporuje
 - hrubé zrna materiálu,
 - vměstky,
 - složitá napjatost
 - rázy.

● **Odolnost proti tepelné únavě = typ nízkocyklové únavy**

- ohrožuje tlustostěnné součásti kotlů, zvláště bubny
- výhodný je materiál, který snáší
 - větší plastickou deformaci
 - s větší relaxační odolností, protože při nízké relaxaci vznikne menší plastická deformace.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

25

Dále se požadují i určité technologické vlastnosti, a to dobrá :

● **Svařitelnost = je dominující technologií při výrobě kotlů.**

- zhoršují ji
 - všechny legury, zvláště uhlík, a proto je jeho obsah vždy velmi nízký ($\approx 0,2\%$)
 - velká tloušťka svařované stěny
- snaha vyhnout se provádění svarů silnostěnných součástí na montážích, kde je obtížné dodržet požadované svařovací podmínky (teplotu resp. předehřev součástí)

● **Tvárnost**

- ovlivňuje minimální přípustný poloměr ohybů za studena, tj. zvláště trubkových svazků ohříváků vody
- velké poloměry zvětšují rozměry hadových typů výměníků.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

26

● **Obrobitelnost**

- týká se např. vrtání děr bubnů a komor a úpravě úkosů při svařování
- obvykle tento požadavek koliduje s požadavkem vysoké pevnosti, která často přímo souvisí s tvrdostí materiálu.
- **Zachování jemnozrnné struktury při tepelném zpracování - lze dosáhnout legováním např. *Al, Ti* či *V***
- **Technologické vlastnosti se klasifikují jen relativně např.**
 - materiál je dobře, podmíněně či obtížně svařitelný,
 - přepisuje se
 - typ elektrody
 - výše nutného předehřevu materiálu

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

27

Základní rozdělení materiálů z hlediska žárovevnosti

● **Uhlíkové oceli feriticko-perlitické třídy 11**

- obsah uhlíku $< 0,2\%$
- používané především na plechy
- jejich výhodou je nízká cena.

● **Uhlíkové oceli feriticko-perlitické třídy 12**

- obsah uhlíku $< 0,25\%$
- používané na trubky do teploty stěny 425°C .

● **Nízkolegované oceli feriticko-perlitické - typů *Cr-Mo* a *Cr-Mo-V***

- třídy 15 používané dle typu až do teploty stěny 590°C převážně na trubky
- třídy 13 legované *Cr-Ni-V* s vyšším obsahem *Mn* na výrobu plechů resp. bubnů.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

28

● **Chromové nerezavějící modifikované oceli**

- odvozené od základní martenzitické oceli $12\pm 14\%$ *Cr*,
- modifikované přísadami *Mo, V, W, Ti* a *Nb*
- používané pro přehříváky s teplotou páry nad 545°C
- hlavní užití je však v oblasti turbín na lopatky, rotory, odlitky armatur a turbinové skříňe do teploty 600°C .

● **Austenitické žárovevné oceli**

- nižší obsah *Cr* (16%) a vyšší obsah *Ni* (13%)
- pro lepší tvárnost se hodí na výrobu trubek.
- kromě vysoké žárovevnosti mají však austenity vesměs nepříznivé vlastnosti:
 - podmíněná svařitelnost
 - ztížená obrobitelnost
 - nízká tepelná vodivost
 - velká roztažnost
- jsou 8 až 10 krát dražší než uhlíkové materiály

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

29

Kovové materiály pro stavbu kotlů

● **Základní dvě skupiny kotlářských materiálů tvoří**

- materiály na trubky
- materiály na plechy.

● **Oceli na výkovky, výlisky a tyče a oceli na odlitky jsou výchozím materiálem pro drobnější součásti parních kotlů, které shrnujeme většinou pod pojmy jemná a hrubá armatura.**

● **Veškeré tyto materiály jsou obsaženy resp. rozděleny do výše uvedených skupin v normě ČSN 42 0090**

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

30

Materiály na plechy

- Plechy jsou výchozím polotovarem pro výrobu
 - bubnů,
 - separátorů,
 - trubkovnic ohříváků apod.
 - veškerých tlakových nádob, jako jsou napájecí nádrže apod.
- Na bubny vysokotlakých kotlů se u nás používá nejčastěji ocel 15 223
 - plechy se za tepla skružují a podélně svařují elektrostruskovým svarem
 - svařené prstence (kroužky) ohřáté na teplotu kalení se rovnají mezi válci a s použitím vodní sprchy se rychle ochlazují
 - obvodové svary bubnů (svařování kroužků) se provádí obloukově automaticky (pod tavidlem) a žihají se na odstranění vnitřních pnutí
 - všechny svary se prozařují a buben se zkouší vodním tlakem

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

31

Materiály na trubky

- Při stavbě kotlů se používají
 - trubky bezešvé - na výrobu dílů tlakového systému
 - trubky svařované - pouze u dílů s menším tepelným a tlakovým namáháním jako jsou např. ohříváky vzduchu
- Základní požadavky na materiál trubek je
 - dobrá tvárnost,
 - svařitelnost
 - vysoká mez průtahu za tepla nebo pevnosti při tečení (podle pracovní teploty vyráběného dílu)
- Výběr ocelí na kotelní trubky se řídí především provozní teplotou

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

32

Hlavní české oceli na kotelní trubky

Označení		Ocel	Max. teplota použití [°C]
dle ČSN	EN ISO		
11 368	P235GH	uhlíková	400
11 418	P265GH	uhlíková	400
12 020	C15E	uhlíková	400
12 021		uhlíková	400
12 022		uhlíková	400
15 020	16Mo3	0,3 Mo	475
15 121	13CrMo4-5	0,5 Cr 0,3 Mo	525
15 128		0,5 Cr 0,5 Mo 0,3 V	580
15 313	10CrMo9-10	0,5 Cr 1 Mo	580
17 134	X22CrMoV12-1	12 Cr 1 Mo 0,5 W 0,3 V	600
17 341	X6CrNiMo17-13	17 Cr 12 Ni Mo	600

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

33

Materiály na ohříváky vzduchu

- trubkové ohříváky vzduchu jsou prakticky beztlakové
- používáme materiál, který je především levný i případně vzdorný proti abrazi a opalu, popř. korozi.
- teplota ohřívání vzduchu většinou nepřekračuje 400°C, a proto vystačí uhlíkový materiál, obvykle ocel 11 353.1 (SPT360).

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

34

Materiály na ohříváky vody

- používají se materiály třídy 11 a 12, extrémně na sálavé ohříváky průtočných kotlů materiál 15 020.
- teplota stěny obvykle nepřesahuje 350°C, takže se nepožaduje vyšší mez pevnosti při tečení,
- životnost ekonomisérů kotlů s granulačními ohništi je obvykle nižší než u ostatních součástí z důvodu abrase, lze ji prodloužit
 - mechanickou ochranou ohrožených partií trubek
 - volbou větší tloušťky stěny
- stejné materiály vystačí na zavodňovací a vyváděcí trubky výparníků a výparníkové komory, kde teplota nemůže překročit 350°C
- u varnic může stěna vlivem vysokých místních tepelných toků dosáhnout teploty i přes 425°C a pak je třeba uvažovat i tečení materiálu varnice

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

35

Materiály na přehříváky a přihříváky

- uhlíkové materiály 12 022.1 do teploty stěny 425°C (až 450°C), tj. pro teplotu páry do 400°C,,
 - jsou lacinější
 - nad 425°C dochází u nich k rychlému poklesu meze tečení
- nízkolegované perlitické materiály třídy 15 až do teploty stěny 580°C (590°C)
 - materiály 15 020.1, 15 021.5, 15 128.5, 15 313.5
 - obsahují 0,1 až 0,2% C, hlavní legury jsou Mo, Cr, V.
- pokud teplota stěny překročí 590°C lze použít
 - austenitické materiály, z nichž přichází v úvahu materiál 17 341 na bázi Cr-Ni s cca 16 % Cr a 13 % Ni
 - feriticko-martenzitické samokalitelné materiály – výhodou je nižší cena, což je dáno nižším obsahem niklu.

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

36

Ocel P91 (X10CrMoVNb91)

- připouští parametry páry 27 MPa, 580/600 °C.
- feriticko martenzitická ocel na bázi 0,1C 9Cr 1Mo V Nb N,

Základní vlastnosti oceli P91 lze shrnout následovně:

- vysoká žárupevnost a plasticita při creepu
- zvýšená korozní odolnost v prostředí vodíku, vodní páry a zplodin hoření
- vysoká tepelná vodivost
- nízká teplotní roztažnost
- dobré technologické vlastnosti vč. svařitelnosti
- nízká cena

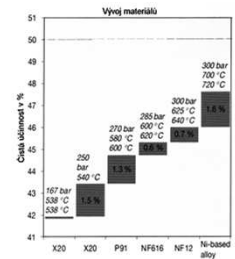
13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

37

Dalšího zvýšení žárupevnosti bylo dosaženo

- přidáním W:
 - japonské materiály označované jako NF616
 - evropským ekvivalentem je E911
- legováním Co, který brání zachování delta-feritu v mikrostruktuře
 - NF12 (~12%Cr, ~2.5%W a ~2.5%Co)
 - pro parametry 30 MPa, 625/640°C.
- vývoj superslitin na bázi niklu, které by umožnily docílit podstatně vyšších parametrů páry (720 °C a více než 30 MPa).



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

38

Nové materiály pro vysoké parametry páry

Prvek	P 91	E 911	NF616	HCM12A	TB 12M
C	0.08-0.12	0.10-0.13	0.07-0.13	0.07-0.14	0.10-0.15
Mn	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60	≤0.70	0.40-0.60
Si	0.20-0.50	0.10-0.30	≤0.50	≤0.50	0.50 max
S	0.010 max	0.010 max	0.010 max	≤0.010	0.010 max
P	0.020 max	0.020 max	≤0.020	≤0.020	0.020 max
Cr	8.00-9.50	8.50-9.50	8.50-9.50	10.00-12.50	11.0-11.30
Mo	0.85-1.05	0.90-1.10	0.30-0.60	0.25-0.60	0.40-0.60
W	-	0.90-1.10	1.50-2.00	1.50-2.50	1.60-1.90
Ni	0.40 max	0.20-0.40	≤0.40	≤0.50	0.70-1.0
Cu	-	-	-	0.30-1.70	-
V	0.18-0.25	0.15-0.25	0.15-0.25	0.15-0.30	0.15-0.25
Nb	0.06-0.10	0.06-0.10	0.04-0.09	0.09-0.10	0.04-0.09
N	0.030-0.070	0.050-0.080	0.030-0.070	0.040-0.100	0.04-0.09
Al	0.04 max	-	≤0.040	≤0.040	0.010 max
B	-	-	0.001-0.006	≤0.005	-
Sn	-	-	-	-	0.010 max
As	-	-	-	-	0.010 max
Sb	-	-	-	-	0.005 max
Mez pevnosti v tečení pro 10 ⁵ hod.	600 ^o	94	(115)	(115)	(150 ^o)

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

39

- Chromová ocel P91 umožňuje v současnosti dosáhnout u ostré páry admisních tlaků až 28,2MPa a teplot do 597°C, u páry přihřáté (v důsledku nižšího tlaku) pak teplot až 610°C. Pro
- koncové části přehříváku kotle bývají používány austenitické materiály (např. TP347H FG), které snášejí o něco vyšší teploty než chromové oceli, jsou však zřetelně nákladnější
- K dalšímu navýšení admisních parametrů páry bude možné přistoupit až po dokončení výzkumu a vývoje materiálů E911/NF616, NF12
- Dosažení teploty páry nad 700°C je pak podmíněno ukončením
- vývoje materiálů na bázi slitin niklu - Alloy 617, TOS1X a TOS1X-II. Vývoj zmíněných materiálů dosud nebyl ukončen

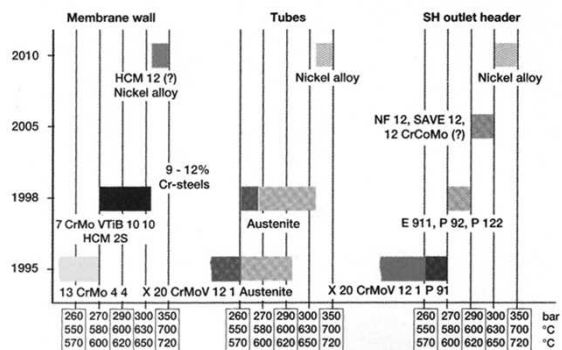
Složení superslitin na bázi niklu je uvedeno v tabulce

	Ni	C	Cr	Al	Ti	Mo	Co	Ta	Nb
Alloy 617	Bal.	0.05 - 0.15	20.0 - 24.0	0.8 - 1.5	<0.6	8.0 - 10.0	10.0 - 15.0	-	-
TOS1X	Bal.	0.05	23	1.6	0.3	9	12.5	0.1	0.3
TOS1X-II	Bal.	0.07	18	1.25	1.35	9	12.5	0.1	0.3

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

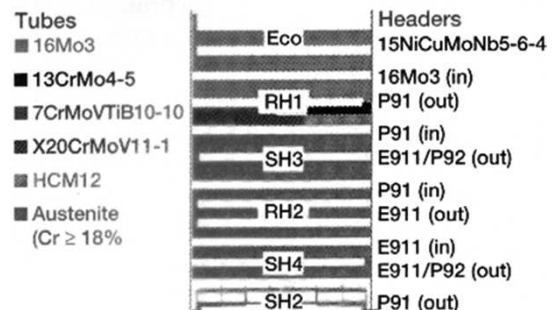
40



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

41



13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

42

Oceli T23 a T24

- vyvinuty pro konstrukci membránových stěn výparníku superkritických kotlů
- představují nástupce parametricky již nevyhovující oceli T22 (10CrMo9-10), ze které vycházejí, a byly dolégovány
 - japonská T23 wolframem,
 - německá T24 titanem
- obsahují jako legující prvek vanad, který tvoří stabilní karbidy či karbonitridy o velice jemné disperzi
- do hry vstupují intersticiální prvky bor a dusík, které mají rovněž prokázány příznivý vliv na zvýšení žárovevnosti oceli

Material	C	Cr	Mo	W	Ti	Co	Others
2 - 2.5 % Cr-steels:							
T23	0.04 - 0.10	1.9 - 2.6	0.05 - 0.30	1.45 - 1.75	-	-	V, Nb, N, B
T24	0.05 - 0.10	2.2 - 2.6	0.9 - 1.1	-	0.05 - 0.10	-	V, N, B

- hlavní očekávaná přednost – lepší svařitelnost bez předehřevu, svary není třeba po provedení popouštět
- očekávání se nepotvrdila – svary po dosažení pracovní teploty vykazují nárůst tvrdosti a ztrátu pevnosti - praskají

13.12.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 12

43