

Předběžný návrh koncepce kotle a přípravy paliva

- Podle zadaných parametrů se volí typ parního generátoru (výparníku)
 - s přirozeným oběhem,
 - nucenou nebo superponovanou cirkulací
 - průtočný.
- Zvolí se uspořádání kotle a sestaví se tepelné schéma, které určuje
 - posloupnost řazení výhřevných ploch
 - umístění výhřevných ploch po délce traktu spalin
 - rozdělení tepla na jednotlivé plochy
 - volbu teploty ohřátí vzduchu
- Volba schématu závisí na mnoha faktorech :
 - na druhu a vlastnostech paliva
 - na parametrech páry
 - na typu kotle
 - na způsobu regulace teploty páry a dalších

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

1

Vliv obsahu dusíku v palivu

- Dusík je součástí prchavé hořlaviny.
- Pro česká uhlí
 - hnědá se jeho obsah v hořlavině pohybuje v rozmezí 0,7% až 1,6%
 - černá v rozmezí 1,1% až 1,9, %.
- Agrární biomasa může obsahovat až 5 % N_{daf}
- Při spalování částic uhlí vznikají oxidy dusíku (NO_x) jako směs
 - oxidu dusnatého (NO)
 - oxidu dusičitého (NO_2),
- výrazně převažuje obsah NO, NO_2 je však několikanásobně toxičtější

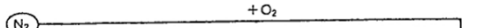
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

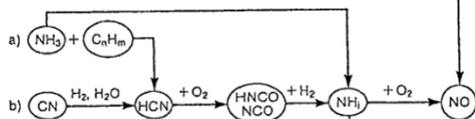
2

Mechanismus vzniku NO

1. Termické NO_x



2. Palivové NO_x



3. Promptní NO_x



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

3

Mechanismy vzniku NO_x

Termické NO_x

- mechanismus vzniku vychází z náhrady vzdušného dusíku molekulami kyslíku.
- proces je podmíněn vysokou aktivační energií - může probíhat
 - jen při vysokých teplotách (nad 1400°C)
 - při relativně dlouhé časové prodlevě na této teplotě.
- Podle Zeldoviče lze termické NO_x stanovit z rovnice rovnovážného stavu při přebytku kyslíku

$$NO_x = 4,26 \cdot e^{-10739/T} \cdot \sqrt{N_2} \cdot \sqrt{O_2} \quad [m^3/m^3] \text{ nebo } [mol/mol]$$

kde: - T [K] je teplota v ohništi, - N_2 [m^3/m^3] nebo [mol/mol]
- O_2 [m^3/m^3] nebo [mol/mol]

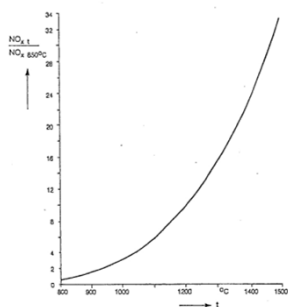
- Vzhledem k potřebné vysoké teplotě a dlouhé době setrvání na této teplotě nejsou u práškových granulacích ohnišť na HU „termické NO_x “ rozhodující pro celkové emise NO_x .

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

4

Termické NO_x – poměrná hodnota



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

5

Mechanismy vzniku NO_x

Promptní NO_x (rychlé)

- Mechanismus je založen na náhradě molekul vzdušného dusíku radikály CH_3 a to v primární reakční zóně uhlovodíkového plamene.
- Vzniká HCN a další oxidací přes sloučeniny NH_3 vzniká NO.
- Při spalování práškového uhlí nemá „promptní NO_x “ z hlediska celkové emise NO_x rovněž velký význam

Palivové NO_x

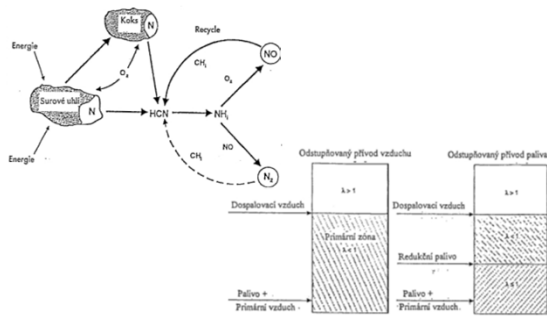
- Mají při fluidním a práškovém spalování HU rozhodující vliv na celkové emise NO_x .
- Dusíkaté sloučeniny vázané v palivu jsou rychlými reakcemi s radikály přeměny na HCN a další relativně pomalou reakcí na sloučeniny NH_3 .
- Podle lokálních podmínek může dále proběhnout
 - přeměna na NO
 - redukce na molekulární dusík.
- Mezi „lokální podmínky“ patří
 - vytvoření redukční atmosféry v oblasti spalování, např. odstupňovaným přívodem vzduchu - při nedostatku kyslíku se zesiluje redukce na molekulární dusík
 - odstupňovaný přívod paliva (Reburning).
- Toto má značný význam při snižování emisí NO_x

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

6

Palivové NO_x – mechanismus vzniku a potlačení jejich vzniku

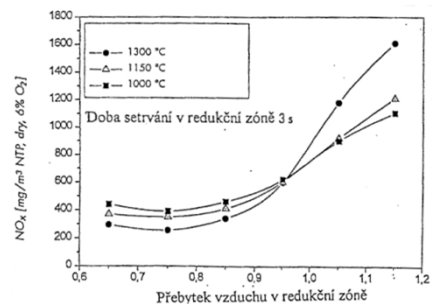


1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

7

Vliv reakční teploty na tvorbu NO_x

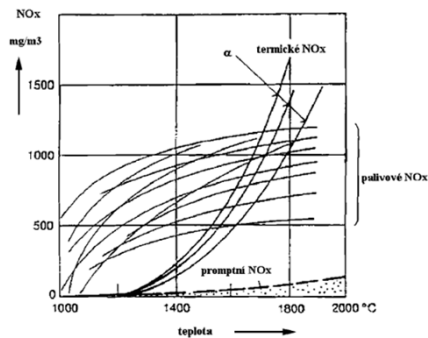


1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

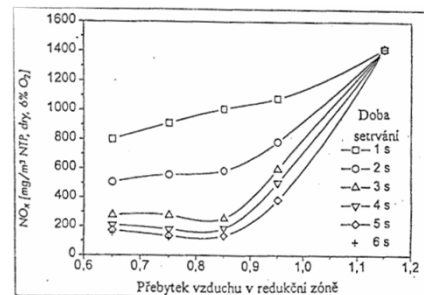
8

Sumární produkce NO_x v závislosti na teplotě



9

Vliv doby setrvání v redukční zóně na tvorbu NO_x

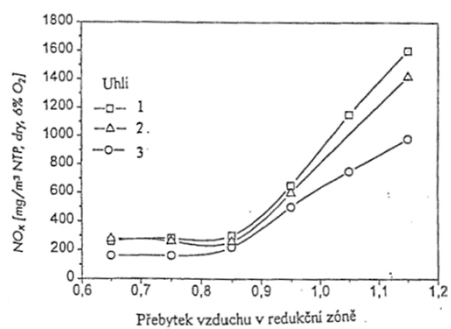


1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

10

Vliv přebytku vzduchu na tvorbu NO_x



1.11.2019

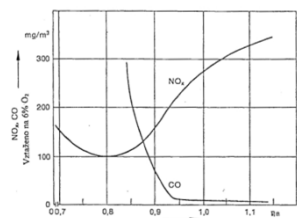
Stavba kotlů - přednáška č. 5

11

Optimalizace spalování z hlediska tvorby NO_x a CO

- Emisní minimum NO_x je při přebytku vzduchu 0,8
- Ohniště však s tímto přebytkem nelze provozovat vzhledem k enormně vysoké hodnotě CO

- To znamená, že se musí při hledání cest pro redukci NO_x současně respektovat zvyšující se podíl spalitelných látek na odchodu z ohniště, tj.
 - zbytkový koks (obsah spalitelného uhlíku v popílku)
 - CO.



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

12

Zohlednění obsahu dusíku v palivu při rozhodování o koncepci kotle

- S obsahem dusíku v palivu souvisí především opatření, která se musí realizovat, aby byl vznik oxidu dusíku omezen na co nejnižší míru
- Veškerá opatření zaměřená na omezení tvorby NO_x při spalování uhlí v ohništi kotle se dnes zahrnují do skupiny tzv. „primárních opatření“, která v principu vytváří optimální podmínky pro spalování uhlí z hlediska minimalizace vzniku NO_x a CO

Za primární opatření se tedy považuje:

- snížení přebytku vzduchu na výstupu z ohniště na nezbytné minimum z hlediska účinnosti spalování a redukce CO a NO_x,
- zvýšená koncentrace prášku v zóně hlavních hořáků,
- odstupňovaný přívod spalovacího vzduchu
- odstupňovaný přívod paliva
- zajištění potřebných koncentrací v celém průřezu (účinné příčné míchání)
- recirkulace spalin do ohniště.
- Pokud by realizaci primárních opatření nebylo možné zajistit splnění emisního limitu NO_x, pak se musí použít některá z metod pro redukci obsahu NO_x ve spalinách,
 - metoda SCR k redukci NO_x ve spalinách na konci kotle (před ohřívákem vzduchu)
 - metoda SNCR snižující obsah NO_x ve spalinách na výstupu z ohniště.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 5

13

Obsah chloru v palivu

- Původně se předpokládalo, že chlorid je v uhlí přítomen pouze jako chlorid sodný, draselný nebo vápenatý.
- Novější studie naznačují, že chlor se vyskytuje nejméně v pěti formách, a to
 - v organické formě jako organohalogenové sloučeniny
 - v anorganické formě jako
 - samostatné minerály obsahující chlor,
 - příměs v minerálech původně neobsahujících chlor,
 - chloridové anionty vázané v porézni struktuře povrchu částic
 - rozpustné soli ve vlhkosti osazené v palivu
- Údaje o velikosti podílů jednotlivých forem výskytu na celkovém obsahu chloru se rozcházejí
- Část chloru vázaná ve formě chloridů kovů, které jsou rozpustné ve vodě, může být z paliva odstraněna vypírkou

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

14

Obsah chloru v palivu

	Odpady komunální	Černé uhlí	Hnědé uhlí	Lotninská pánev	Jihoafrické uhlí	Australské uhlí	Anglie
Obsah Cl % (d)	do 1,0	cca 0,15	0,035	0,33	0,001	0,06	0,25 max 0,8
Obsah S % (d)	do 1,0	1,0-2,0	< 0,5	0,9	0,8	0,6	0,8 (daf)
Typ ohniště	Roštové	Práškové granulační, výtavné	Fluidní cirkulující				
Spaliny na výstupu z ohniště							
Obsah HCl mg/Nm ³	? 500	< 200	< 50				
Obsah SO ₂ mg/Nm ³	? 200	cca 2000	< 175				
Cl SO ₂ mg/mg	< 10	< 0,1	< 0,3				
Odhadovaný účinek koroze							
Běžná rnm/h	< 25 - 50	< 10	< 5				
Sírná (lokální) rnm/h	500-1000	< 500	max 250				

- Agrární biomasa může obsahovat 0,4 až 1,2 % Cl^d
- Za vysoký lze považovat obsah Cl^d nad 0,35 %

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

15

Chlor ve spalovacím procesu

- Během spalování dochází k uvolňování organického chloru do plynné fáze
 - uvolnění chloru (dechlorace) během spalování proběhlo za cca 200 ms a to i pro částice o velikosti 300 μm při obsahu chloru 0,54%, až 0,83%.
 - doba 200 ms je menší než je čas, kdy částice od ústí hořáku dorazí ke stěně ohniště (u běžných práškových ohnišť).
 - k uvolňování chloru dochází již i při teplotách 258°C, kdy se 40-60% chloru uvolňuje jako HCl případně i Cl₂ (nízkoteplotní dechlorace)
- Větší korozní riziko představují těkavé chloridy alkalických kovů
 - KCl s teplotou tání je okolo 760°C
 - NaCl s teplotou tání je okolo 820
 - kondenzují na chladnějších stěnách teplosměnných ploch a vytvářejí sloučeniny, které jsou k materiálu trubek vysoce agresivní

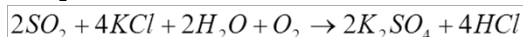
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

16

Chlor ve spalovacím procesu

- Velký efekt na podíl jednotlivých typů sloučenin chloru ve spalinách má síra, resp. koncentrace SO₂ - reaguje s chloridy



- síran draselný je netěkavý a odstraní se spolu s popílkem v odlučovačích
- HCl je výrazně menším korozním rizikem, neboť i při nižších teplotách zůstává vysoce zředěná v plynné fázi (kondenzuje při 48 – 110°C)
- Intenzivnější chlorová koroze proto hrozí
 - při spalování paliv s malým obsahem síry – biomasa
 - při aditivním odsiřování přímo ve spalovací komoře – fluidní kotle

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

17

Chlorová koroze

- Vliv chloru na korozi teplosměnných ploch kotle (a i na vyzdívký) je znám především u zařízení na spalování odpadů a biomasy.
- Na plochách uhelných kotlů s roštovým a práškovým ohništěm doposud nebylo působení chlorové koroze zaznamenáno v takovém rozsahu, aby vyvolalo pozornost.
- V poslední době se stává otázka chlorové koroze aktuální
 - u kotlů s nadkritickými parametry,
 - u kotlů s fluidním ohništěm, resp. u kotlů s aditivním odsiřováním ve spalovací komoře,
 - u kotlů na spalování odpadů a biomasy,
 - u kotlů spalujících uhlí s přídavným spalováním odpadů či biomasy.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

18

Chlorová koroze

- Riziko vzniku chlorové koroze výchřevných ploch kotle dle obsahu chloru v uhlí lze očekávat:

Cl < 0,15 % malé riziko
Cl = (0,15 až 0,35) střední riziko
Cl > 0,35 vysoké riziko

- Účinky jsou závislé

- na množství uvolněného chloru,
- na lokálních provozních podmínkách, které spolupůsobí při korozi a jsou charakteristické pro mechanismus korozního působení v dané oblasti.

- Odděleně se posuzuje vliv obsahu chloru na korozi:

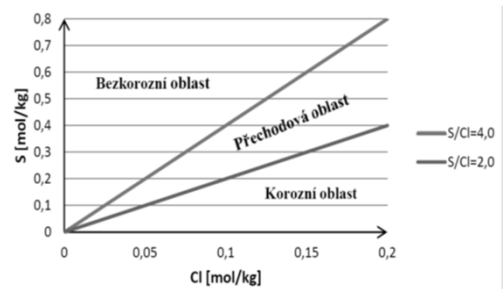
- v oblasti ohniště
- v oblasti přehříváku páry
- v oblasti tzv. nízkoteplotní koroze („studený konec kotle“)

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

19

Diagram chlorové koroze

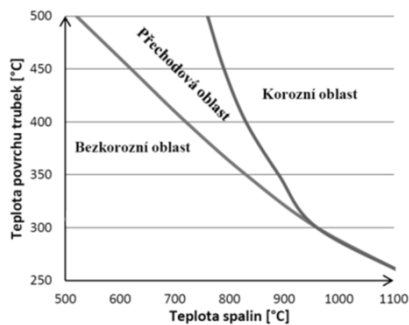


1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

20

diagram Flingern



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

21

Vysokoteplotní koroze v oblasti ohniště

Stěny spalovací komory

- Pro tuto oblast je charakteristická nízká teplota stěny (řekněme do 460°C u kotlů s podkritickými parametry) a vysoká teplota na straně spalin (např. až 1400°C).
- Primární příčinou vysokoteplotní koroze stěn spalovací komory bývá především špatný spalovací režim.
- Důležitá je rychlost jejího působení - tedy k jakému úbytku materiálu stěny varnice dojde.
- Korelace mezi obsahem chloru a rychlostí koroze (na základě sledování řady starších anglických elektráren na uhlí s tlakem páry cca 10 MPa spalujících uhlí s vysokým obsahem chloru)
 $R = 1380 Cl - 290$ kde:
 - R je rychlost koroze [nm/h]
 - Cl [%] je obsah chloru v uhlí
- při každém zvýšení obsahu chloru v uhlí o 0,1% se zvýší rychlost koroze o 138nm/h

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

22

Mechanismus vysokoteplotní koroze

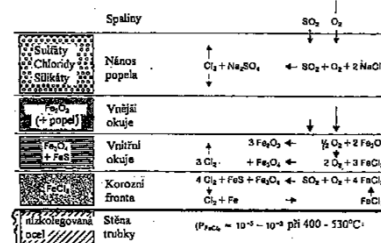
- Určující je přítomnost volného Cl₂
- Podstatné kroky tohoto mechanismu jsou:
 - tvorba chloridu železnatého na povrchu materiálu
 - zplyňování chloridu železnatého v závislosti na lokální provozní teplotě
 - rozklad chloridu železnatého reakcí s kyslíkem a kyslíčkem síry, které difundují ze spalin směrem ke stěně trubky.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

23

Mechanismus vysokoteplotní koroze



- oxid se vytváří vzdáleně od trubky a znemožňuje vznik plynotěsné ochranné oxidační vrstvy Fe₂O₃.
- kyslík se spotřebovává na vnějších vrstvách povrchu stěny (okraje, nánosy),
- tím se vytváří na korozní frontě redukční atmosféra, která pak umožňuje tvorbu chloridu železa na stěně trubky.
- sulfatizace chloridů obsažených v popelovém nánosu, přispívá pak k dosažení dostatečné vysokého parciálního tlaku chloru na rozhraní okraje - materiál stěny.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

24

Rizikové faktory

- Rizikové faktory, které by mohly být příčinou vysokoteplotní koroze trubek výparníku z nízkoaloyované oceli s teplotou stěny 300 až 400 °C v oblasti teplot spalin 1200 až 1600 °C, mohou být:
 - redukční podmínky
 - nedokonalé spalování
 - přímý dotek plamene nebo dopad částic paliva na stěnu
 - vytváření pásme
 - vysoký obsah Cl v palivu
 - zvýšená teplota stěny
 - slabé chlazení (proudění)
 - silný vnitřní nános v trubce
 - vysoký tepelný tok
 - Rychlost koroze je považována
 - za normální, pokud se pohybuje pod úrovní 10 nm/h.
 - za silnou, pokud přesáhne hodnotu 500 nm/h

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

25

Vysokoteplotní koroze v oblasti přehříváku a mezipřehříváku

- V zóně přehříváku páry je již dokončeno spalování, teploty spalin jsou výrazně nižší, cca 900°C až 1150°C, a max. teplota povrchu trubek přehříváku je cca 600°C až 650°C.
- Při této povrchové teplotě se již vytváří tekuté sírany, které se usazují na stěně trubky (při příznivé hodnotě místních parciálních tlaků SO₂) a reagují s povrchovou vrstvičkou kyslíčnicku, což vede k rychlé korozi.
- Empirický vztah mezi rychlostí koroze R[nm/h] a teplotou kovu, teplotou plynu, polohou trubky v proudu spalin, obsahem chloru u uhlí a chemickým složením oceli

$$R = K \cdot L \cdot B \cdot (Cl - a) \cdot (T_m - b)^c \cdot (T_g - d)^e$$

- R, K, a, b, c, d, e - jsou empiricky odvozené konstanty,
- Cl - je obsah chloru v uhlí [% hmot],
- T_m - je povrchová teplota kovu,
- T_g - je teplota spalin,
- L - je parametr „určující trubky“ ve svazku
- B je parametr určující slitinu, z níž je trubka vyrobena

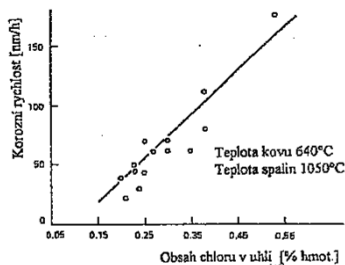
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

26

Vysokoteplotní koroze v oblasti přehříváku a mezipřehříváku

Rychlost koroze



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

27

Výsledky sledování vysokoteplotní koroze v oblasti přehříváku

Výsledky sledování vysokoteplotní koroze v oblasti přehříváku při spalování německých druhů uhlí a oleje lze shrnout následovně

- I přes značné rozdíly v chemickém složení popelových nánosů na přehřívákových trubkách je korozní mechanismus při spalování uhlí i oleje podobný.
- Materiál je působením kyslíku a kysličníku síry napaden na rozhraní kov - okuje. Korozní produkty se skládají z magnetitu, hematitu a siřičitanu železnatého. Jedná se tedy o „běžný typ“ koroze plyn - kov.
- Neexistuje důkaz, že by se popelový nános na trubkách přehříváku (ať v pevné formě nebo ve formě taveniny) přímo podílel na procesu koroze.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

28

Rizikové faktory

- Rizikové faktory, které by mohly být příčinou vysokoteplotní koroze trubek přehříváku z nízkoaloyované oceli s teplotou stěny pod 600 °C v oblastech teplot spalin do 1200 °C mohou být:
 - zvýšená teplota stěny
 - slabé chlazení
 - silný vnitřní nános
 - vysoká teplota spalin
 - vysoký tepelný tok
 - přidavné namáhání od:
 - vysokého teplotního gradientu a lokálních změn teploty (ofukovače, rychlé najíždění)
 - mechanického napětí (cyklické namáhání, změny napětí od dilataci)
 - redukční podmínky
 - nedokonalé spalování
 - vytváření pásme
 - vysoký obsah chloru v palivu
 - rychlost koroze je považována
 - za normální pod úrovní 25 nm/h,
 - za silnou přes 100 nm/h (500 nm/h při spalování komunálního odpadu)

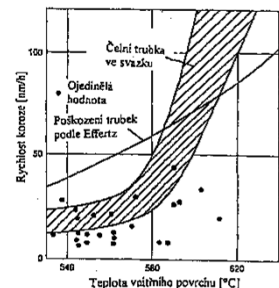
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

29

Výsledky praktických pozorování

- Na „zavětrné“ polovině trubky je úbytek tloušťky stěny na straně spalin (vnější povrch) malý a je srovnatelný s úbytkem na straně páry (vnitřní povrch).
- Na „návětrné“ straně trubky je úbytek tloušťky stěny na straně spalin cca 5 krát (ale i 10-15 krát) větší než úbytek stěny na straně páry.
- Čelní trubky ve svazku (volný prostor před nimi je alespoň 200 mm) jsou korozi napadeny více než vnitřní trubky ve svazku.



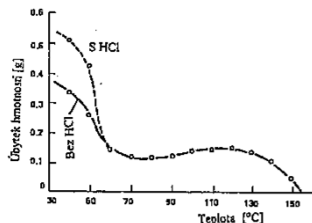
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

30

Koroze v oblasti „studeného konce kotle“

- podmínky vzniku této koroze byly studovány na laboratorním spalovacím zařízení
- byly vytvořeny podmínky pro „čistou“ plynovou korozi, tj. bez přítomnosti popela a popelových usazenin.
- pro vzorky z měkké oceli, byla získána pro spaliny bez HCl známá závislost korozní rychlosti (viz obr.) na teplotě



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

31

Chlorová koroze u fluidních kotlů

Byly popsány tři druhy koroze:

- vysokoteplotní chlorová koroze v oblasti proudění se silnými erosivními účinky např.:
 - varnice v horní části spalovací komory (vstup do cyklonů)
 - druhý tah- závěsné trubky
- vysokoteplotní chlorová koroze pod nánosy v oblastech s uklidněným prouděním (bez eroze) např.:
 - varnice stropu spalovací komory
- chlorová koroze u odstaveného kotle

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

32

Mechanismus chlorové koroze u FK

- Charakteristické pro fluidní ohniště je aditivní odsířování s vysokým stupněm zachycení síry pomocí např. vápence.
- K odsířování se využívá
 - vápno obsažené v popelu spalovaného uhlí (tzv. samoodsíření),
 - dávkování vápence – množství se automaticky reguluje podle zadaného obsahu SO_2 ve spalinách za kotlem.
- U fluidního ohniště se vyskytují provozní stavy
 - s vysokým přebytkem Ca/S (tedy s vysokým přebytkem vápna)
 - lokálně i s vysokým obsahem kyslíku.
- To vede ke změně reakčního mechanismu přeměny chloridů
 - s ohledem na malý obsah SO_2 ve spalinách (např. 20 mg/Nm³) nemusí dojít k přeměně chloridů kovů na sulfáty,
 - chloridy pak na chlazených teplosměnných plochách kondenzují a nastartují se tak korozní mechanismy i při nízkém obsahu chloru v uhlí.
- mechanismus má zřejmě lokální charakter

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

33

Chlorová koroze u kotlů na biomasu a odpady

- rostlinná biomasa a odpady mohou obsahovat vysoký obsah chloru - Cl⁻ > 1 % i více
- problematická je kombinace s
 - vyšším podílem chloridů alkalických kovů – KCl, NaCl – intenzifikují korozi
 - nížším obsahem síry – dokáže vázat K a Na na stabilní sírany
- chloridy se při spalování odpaří, následně kondenzují na výhřevných plochách, kde vytvářejí masivní nános, pod nímž probíhá intenzivní koroze

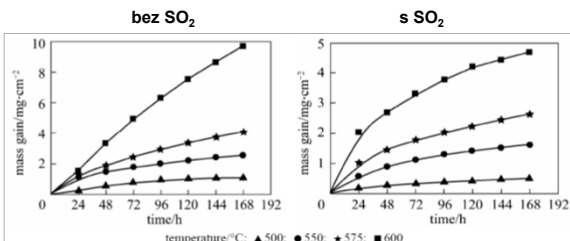


1.11.2019

34

Chlorová koroze u kotlů na biomasu a odpady

- laboratorní výzkum vlivu HCl na korozi materiálu v závislosti na teplotě a přítomnosti SO_2
- matriál 17 349 (X2CrNiMo17 13 2 dle DIN) pokrytý úsadami z přehříváku biomasového kotle byl vystaven působení spalin



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

35

Zohlednění obsahu chloru při návrhu kotle

Korozi můžeme definovat jako chemickou reakci materiálu teplosměnných ploch s okolím, v tomto případě se spalinami

Lze říci, že působení a rychlost koroze obecně závisí na třech základních faktorech:

- na prostředí (chemickém zatížení), které je definováno chemickým složením uhlí a podmínkami, za nichž probíhá spalování,
- na provozní teplotě teplosměnných ploch, která je jednak předurčena požadovanými parametry páry, ale je i silně závislá na provozních podmínkách, např. se výrazně uplatňuje vliv nánosů nebo zašpinění ploch, atd.
- na vlastnostech materiálu teplosměnných ploch (např. chemické složení, mechanické a tepelné vlastnosti apod.)

Vliv obsahu chloru na vyložení a návrh kotle lze zohlednit na základě těchto opatření, která

- korozí eliminují
- alespoň snižují vliv koroze na provoz kotle.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

36

Zohlednění obsahu chloru při návrhu kotle

Základní předpoklad pro správné dimenzování (vyložení) tlakových částí teplosměnných ploch kotle je

- znalost mechanismu koroze
- schopnost stanovit úbytek materiálu při korozním napadení

Dnes nelze jednoznačně definovat opatření pro vyloučení chlorové koroze nebo pro naprostou eliminaci jejího působení na provoz kotle.

Na základě dosavadních znalostí o mechanismu chlorové koroze a provozních zkušenostech lze ale formulovat určité zásady pro řízení provozu.

Jsou to zásady v rámci tzv. primárních opatření, která

- ovlivňují podmínky pro nastartování mechanismu chlorové koroze
- ovlivňují její rychlost
- definují požadavky na konstrukční provedení některých částí kotle

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

37

Doporučovaná opatření pro oblast ohniště

Hlavní příčiny intenzivní chlorové koroze je třeba hledat

- v nesprávném vyložení a konstrukci ohniště
- v nevhodném řízení provozu.

Zejména lze uvést tyto termické a chemické příčiny zvýšení korozní rychlosti, resp. opatření k jejímu snížení:

Správné řízení spalovacího procesu - je třeba zabránit vzniku redukčního prostředí při styku spalin s trubkami výparníku.

Patří sem:

- vhodné mletí paliva (příliš hrubá zrna vyhořívají až na stěně)
- řízení ohniště a konstrukce hořáků zajišťující hoření v celém průřezu spalovací komory v dostatečné vzdálenosti od stěn
 - vhodné rychlosti primární směsi a spalovacího vzduchu
 - transport části spalovacího vzduchu ke stěně
 - volba typu a velikosti hořáku vylučujícího přímý dotek plamene se stěnou spalovací komory
- celkové uspořádání ohniště a jeho řízení zajišťující rovnoměrné spalování v celém objemu spalovací komory - bez vytváření oblastí s lokálním redukčním prostředím nebo s vysokými tepelnými šoky

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

38

Doporučovaná opatření pro oblast ohniště

Nepřekročení bezpečné teploty stěny varnice

- U běžných kotlů s podkritickými parametry by tato podmínka měla být ze strany parametrů pracovního média splněna. (Teplota média do 370°C) Je třeba ale zajistit i splnění dalších podmínek, např.:
 - spolehlivé chlazení varnice (volba správného systému cirkulace nebo proudění ve výparníku, vyloučit nestabilitu proudění a pulsace, přenos tepla při varu vody, atd.)
 - vyloučení nánosů na vnitřní straně varnice (složení napájecí a kotelní vody)
 - vyloučit vysoké lokální tepelné zatížení
- U kotlů s nadkritickými parametry (kromě výše uvedených podmínek) teplotu stěny mohou do nebezpečné oblasti posunout již zadané parametry páry ve spojení se zvoleným typem výparníku. Jediným řešením je v postižené oblasti provést varnice z vhodné slitinové oceli. Pro dostatečné chlazení varnice se v kritických oblastech používají i trubky s vnitřním žebrováním.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

39

Doporučovaná opatření pro oblast ohniště

Ochrana stěn výparníku

- V některých případech je vhodné stěny spalovací komory izolovat od spalin vhodnou žáruvzdornou vyzdívkou nebo žárobetonem.
- Provádí se u kotlů s výtavným ohništěm a v některých případech i u kotlů s roštovým ohništěm. (Při velkém obsahu chloru v uhlí).
- u spalovacích kotlů se provádí povrchový návar (cladding) materiálem Inconel 625 na bázi 58 % Ni a 23 % Cr

Použití vhodné oceli - dimenzování varnice

- Běžně se používají oceli třídy 12 a 15 - nevyznačují vysokou odolností proti chlorové korozi
- Základním opatřením pro zajištění potřebné životnosti výparníku je respektovat očekávanou rychlost koroze (úbytek tloušťky stěny) při pevnostním vyložení varnic.
- Tzv. přídatek k tloušťce stěny (který je předepsán podle pevnostních výpočtů varnic) upravit (zvětšit) podle vypočteného (nebo očekávaného) úbytku materiálu při působení koroze za daných (očekávaných) podmínek v posuzované oblasti ohniště.
- Byly provedeny rozsáhlé pokusy s hodnocením odolnosti materiálů vůči chlorové korozi. Všeobecně lze říci, že vysoce legované oceli vykazují vyšší odolnost než uhlíkaté oceli.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

40

Doporučovaná opatření pro oblast přehříváku

Hlavní příčiny intenzivní chlorové koroze ze strany spalin souvisí

- s nesprávným vyložení a konstrukcí přehříváku
- s nevhodným řízením kotle (např. cyklické namáhání),
- projevuje se i vliv nesprávného řízení ohniště.

Při spalování paliv s nízkým obsahem Cl je životnost přehříváku limitována erozí a abrazí, chlorová koroze se nestačí projevit.

Především lze uvést tyto termické, chemické a mechanické příčiny zvýšené rychlosti koroze, resp. opatření:

Dodržet teplotu stěny přehřívákové trubky

- pro Cl¹ < 0,1 % u běžných kotlů s podkritickým tlakem páry zadané parametry páry (teplota páry bývá cca do 560°C) nevyvolají nějaká zvláštní řešení
- pro vyšší obsah Cl se jako bezpečná uvádí teplota páry 400 °C
- musí se ale zajistit takové provozní podmínky, aby se teplota stěny - byť i lokálně - nezvyšovala, např.:
 - dostatečné chlazení přehřívákové trubky
 - vyloučení nánosů na vnitřní stěně trubky (čistota páry)
 - zvýšení teploty spalin
 - omezit lokální vysoké tepelné zatížení

1.11.2019

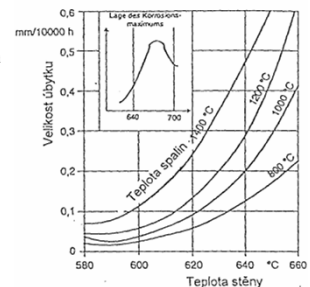
Stavba kotlů - přednáška č. 6

41

Doporučovaná opatření pro oblast přehříváku

- u kotlů s nadkritickými parametry (teplota páry do cca 600°C) již sama teplota páry posouvá teplotu stěny trubky do oblasti zvýšených rychlostí koroze.

- Závislost koroze na teplotě je vidět na obrázku.
- Kromě výše uvedených opatření (podmínek) je jediným řešením volba materiálu trubek s větší odolností proti chlorové korozi.



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

42

Doporučovaná opatření pro oblast přehříváků

Použití vhodné oceli - dimenzování přehřívákové trubky

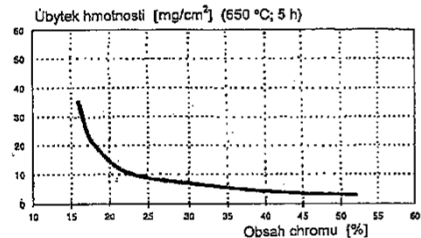
- I v tomto případě je základním kritériem pro volbu materiálu trubek dlouhodobá mez pevnosti při dané teplotě stěny.
 - Požaduje se vysoká odolnost proti korozi na straně páry a hlavně na straně spalín.
 - Pro vstupní díly přehřívákové páry (do 400°C) se používají uhlíkaté oceli tř. 12,
 - pro teploty stěny do cca 590°C lze použít legované oceli tř. 15 nebo austenitické oceli, případně některé slitinové oceli (např. 17134.5, až do teploty stěny 625°C).
 - Vliv vhodných vlastností materiálu teplosměnných ploch na rychlost koroze se musí posuzovat společně s teplotou stěny trubky.
- Při spalování uhlí s vyšším obsahem chloru se doporučuje počítat s očekávanou rychlostí koroze při pevnostním vyložení trubek přehříváku.
 - Tzv. přírůstek k tloušťce stěny (předepsaný podle pevnostního výpočtu) upravit (zvětšit) podle očekávaného (vypočteného) úbytku tloušťky stěny při působení chlorové koroze za daných podmínek v posuzované oblasti.
 - Při teplotách stěny do 600°C se doporučuje (při spalování německého uhlí) počítat s rychlostí koroze 25 mm/h. Jak je vidět na obrázku, tak zvyšování obsahu chromu asi do 20% výrazně snižuje rychlost koroze. Při obsahu chromu nad 20% je již vliv zanedbatelný.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

43

Vliv obsahu chromu na rychlost koroze



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

44

Opatření v oblasti tzv. studeného konce

- Koroze v této části kotle souvisí s poklesem teploty stěny pod teplotu rosného bodu spalín,
 - Příčiny této koroze je třeba hledat opět
 - v chybném řízení provozu kotle
 - v nevhodném konstrukčním řešení kritických míst.
- Dodržet teplotu stěny (ohrožené části kotle) na hodnotě bezpečné z hlediska kondenzace par ve spalínách.
- V oblasti studeného konce se to týká jak teplosměnných ploch, tak i spalínových kanálů.
 - Teplosměnné plochy (ohřívák vzduchu a při nízké teplotě napájecí vody i ohřívák napájecí vody). U těchto částí opatření spočívá především ve správném konstrukčním řešení a řízení provozu kotle. Opatření jsou uvedena v části zabývající se obsahem siry v palivu.
 - Spalínové kanály (Jak kanály ohříváku vzduchu a kanály za kotlem, tak i potrubí recirkulace spalín atd.). V těchto případech spočívá řešení ve
 - správném konstrukčním návrhu a kvalitě provedené izolace
 - správné údržbě těchto částí (obnova demontované izolace)

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

45

Opatření v oblasti tzv. studeného konce

Správné řízení provozu kotle

- Je to základní podmínka pro eliminaci koroze.
- Správný konstrukční návrh kotle sám o sobě nestačí, musí se respektovat při návrhu kotle předpokládaný (navržený) systém regulace a řízení (předehřev vody, předehřev vzduchu atd.).
- Kritickým provozním režimem je najíždění a odstavování kotle - spolehlivost provozu v těchto stavech řeší provozní předpis, případně systém ochran.

Použití vhodných materiálů

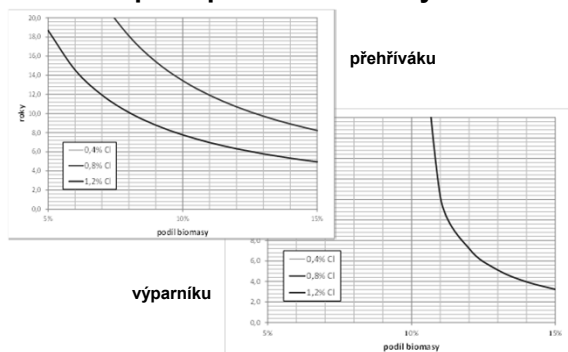
- I když prioritu by měla mít výše uvedená tzv. primární opatření, mohou nastat situace, kdy řešení aplikací vhodnějšího materiálu je oprávněné.
 - teplosměnné plochy - možnosti použití alternativních materiálů
 - spalínové kanály a potrubí - uplatnění nachází různé nátěry speciálními hmotami, pogumování apod.

1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

46

Doba úbytku 50 % tloušťky stěny trubek při spoluspalování biomasy



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

47

Návrh fluidního kotle na rostlinnou biomasu

Firma Foster Wheeler uplatnila tato opatření:

- koncový přehřívák umístěný v recirkulovaném fluidizačním materiálu
- prázdný tah pro prodloužení doby zdržení spalín, aby se ochladily a vyčistily před vstupem do konvektivních přehříváků
- vodní ostřikovače na bocích prázdného tahu pro čištění jeho stěn a pružinová kladiva pro oklepávání usazenin z konvektivních přehříváků
- dávkování sírových granulí pro zvýšení teploty tavení popílku
- závěsné austenitické přehříváky, které lze snadno vyměnit střechou

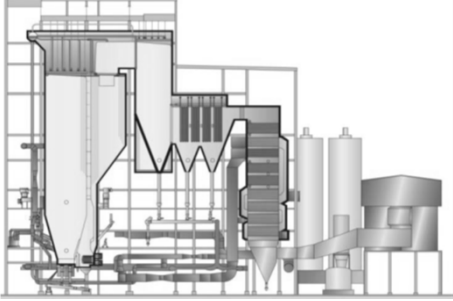
1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

48

Návrh fluidního kotle na rostlinnou biomasu

kotel má výkon 92 kg/s páry při tlaku 90 barů a teplotě 540 °C



1.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 6

49