

# POUŽITÍ PLÁTOVANÝCH TRUBEK NA KRITICKÁ MÍSTA KOTLŮ PRO ENERGETIKU

## THE CLADDING TUBES FOR THE ENERGETIC BOILER CRITICAL PARTS APPLICATION

Ladislav Horváth<sup>a)</sup>, Jakub Horváth<sup>a,b)</sup>, Jiří Janovec<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> UJP PRAHA a. s., Nad Kamínkou 1345, 156 10 Praha - Zbraslav

<sup>b)</sup> ČVUT, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2

### Abstrakt

Příspěvek uvádí do problému aplikace plátovaných trubek pro specifická degradační prostředí. Uvádí možnosti rozšíření použití plátovaných trubek pro aplikaci v energetice. V případě energetických bloků je nutné brát v úvahu teplotní zatížení při provozu, které může způsobit vážné problémy na plátovaném rozhraní. Příspěvek uvádí výpočtové řešení na plátovaném rozhraní nosného a ochranného materiálu.

Introduction of this paper briefly introduce into application of the cladding tubes under specific degradation conditions. One of the specific applications of cladding tubes can be for power boilers, respectively for heat exposed boiler parts. It is necessary keep in mind heat exposition in this application. Elevated temperature can cause serious problems for cladding surface. This paper present results of the cladding surface numerical modeling.

### Úvod

Studie proveditelnosti nadkritických kotlů pro energetiku se objevily v první polovině padesátých let minulého století. Motivace, která spočívala ve zvýšení účinnosti nad 40% při zvýšení tlaku páry nad 22,1MPa a její teploty nad 374,15°C byla na dlouhá léta zbrzděna nejdříve tím, že nebyly k dispozici ocele schopné dlouhodobě odolávat těmto podmínkám a později ekonomickou nevýhodností, na které se podílela rozhodující měrou cena nových vysoce legovaných ocelí. Oceli, u kterých jejich výrobci deklarovali použitelnost a dlouhodobou odolnost (korozní i creepovou) se postupně objevovaly na trhu a nadkritické a později i ultrakritické bloky se začaly po světě stavět a provozovat. Reálný život postupně ukazuje, že očekávání spojená s modifikovanými materiály (9-12 %Cr) s feriticko-martensitickou strukturou a později s komplexně legovanými austenitickými žárovevnými ocelmi byla v řadě případů příliš optimistická. K tomuto poznání se dopracovala např. již před více než patnácti lety japonská energetická společnost Tokyo Electric Power, která pro elektrárnu Isogo 600 MW (parametry ostré páry 250bar/600°C/610°C) použila pro přehříváky materiál Inconel 718 (50-55%Ni, 17-21%Cr). Cena za získání dlouhodobé spolehlivosti použitím niklových slitin je však vysoká. V [1] byla publikována cena materiálu ve vztahu k velikosti meze kluzu, která pro řadu ocelí od AISI 316L po Inconel 625 roste prakticky exponenciálně. Použití plátovaných trubek v energetice je jednou z možných ekonomicky zajímavých variant konstrukčních řešení.

### Výroba plátovaných trubek a jejich použití na tlakové systémy

V našem příspěvku se z celé řady technologií výrob plátovaných trubek zaměříme na trubky, u kterých dochází při výrobě k metalurgickému spojení. Protože se obvykle jedná o materiály rozdílného chemického složení, vzniká v místě spojení vrstva přechodového kovu, který často podmiňuje výsledné možnosti celé trubky. Při provozování za vysokých teplot dochází na rozhraní kovů k difuzním procesům, které mohou postupně měnit vlastnosti přechodové vrstvy.

Tato problematika je pro řadu kombinací materiálů poměrně podrobně řešena a plátované trubky jsou již na trhu dostupné [2], [3]. Zatím největší rozšíření našly v oblastech, kde

provozní podmínky nejsou příliš náročné a plátování má význam spíše jako protikorozní ochrana. U materiálových kombinací, kterými jsme se v posledních letech zabývali, se předpokládá použití pro vysoké teploty a tlaky, konkrétně pro teplosměnné plochy trubkových přehříváků a přihříváků. Naše pozornost byla hlavně zaměřena na zvládnutí ohybů těchto trubek. Důvod pro toto zaměření byl v tom, že prakticky stejným technologickým postupem, jakým jsou vyráběny rovné trubky (délka u předních výrobců přesahuje 12m) je možné vyrábět i ohyby a kolena. Pro každou geometrii je však nutné mít k dispozici samostatný stroj což velmi redukuje nabízený sortiment.

### **Vliv tloušťek základního materiálu a plátované vrstvy**

Tloušťka plátované vrstvy byla ve většině případů odvozena od použité technologie plátování a nebyla obvykle nižší než 3mm. Nyní je možné nalézt plátované trubky s plátovanou vrstvou výrazně nižší. I v případě, že pevnostní návrh uvažuje pouze tloušťky a vlastnosti nosného kovu a vlastnosti druhého (ochranného) kovu zanedbává, nemusí být návrh na straně bezpečnosti. Kromě toho je u silnějších vrstev ochranného kovu tento postup silně neekonomický [4]. U plátovaných trubek, které mají pracovat při vysokých teplotách, jsou limitující napět'ové poměry na styku základního a naplátovaného kovu. V případě oddělení obou kovů na jejich styku se zásadně změní napět'ové poměry v celé stěně.

### **Porovnání základních možných variant**

Pro ukázkou jsme zvolili jako základní trubku o  $\varnothing$ DE 40mm, tloušťce stěny 6mm, která opatřena plátovanou vrstvou z vnitřní strany o tloušťce 0,5 a 2,5mm nebo o tloušťce 0,5 a 2mm z vnější strany. Základní trubka je z oceli P92. Ocel P92 (ASTM A335 P92, X10CrWMoVNb 9 - 2) je martenzitická ocel s 9 % Cr koncipována pro využití v energetických zařízeních s nadkritickými parametry páry. Jako naplátovaný ochranný materiál je použita v obou případech niklová slitina a to Sanicro 60 (INCONEL 625, ALLOY 625, W. Nr. 2.4856) a Sanicro 28 (ALLOY 28, W. Nr. 1.4563), Výpočtově byly porovnávány stavy zatížení vnitřním přetlakem a teplotou (dva stavy  $t=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p=0,6\text{ MPa}$  a  $t=580\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p=22\text{ MPa}$ ) a zatížení pouze teplotou a pouze vnitřním přetlakem.

Byly zvoleny dvě niklové slitiny s rozdílnou tepelnou roztažností, z nichž se tepelná roztažnost pro hodnocené teploty se pro Sanicro 60 blíží roztažnosti oceli P92 a roztažnost Sanicro 28 je výrazně vyšší.

### **Výsledky výpočtového hodnocení**

Provedené hodnocení napět'ových stavů dokládá pro aplikace plátovaných trubek při vyšších teplotách rozhodující vliv rozdílů v teplotní roztažnosti. Nárůsty napětí na styku obou kovů při vyšších rozdílech tepelné roztažnosti, které se pohybují ve stovkách procent, tyto kombinace zcela vylučují (obr.1). Pro tyto aplikace se ukazuje jako výhodnější použití tenkých plátovaných vrstev, které budou plnit pouze funkci ochrany základního kovu. Trubkové přehříváky a přihříváky sestávají nejen z rovných úseků, ale i z ohybů. Provádění trubkových ohybů plátovaných trubek (ať již za studena bez následného tepelného zpracování, nebo s pomocí indukčního ohřevu) je vždy spojeno s velkou plastickou deformací v tažené i tlačené části ohybu a vnesením zbytkového napětí. S ohýbáním je spojena i možnost vzniku lokálních nespojitostí na styku základního a plátovaného kovu. Problematikou predikce možnosti vzniku nespojitosti na styku základního a plátovaného kovu při ohybu se zabývaly práce shrnuté v [5] v rámci kterých byla i vytvořena a prakticky odzkoušena výpočtově experimentální metodika predikce úspěšnosti provedení ohybu plátované trubky. Pro praktické aplikace bude zřejmě nezbytná 100% NDT kontrola. Při delaminaci vrstev jsou špičky napětí natolik vysoké, že mohou způsobit zip efekt (obr. 2), což je stav, kdy dochází k rychlému nárůstu plochy nespojitosti, nebo drobná lokální nespojitost přejde do vzniku a rozvoje trhliny, která se následně šíří základním materiálem.

I přes uvedené problémy a odlišnosti od homogenních materiálů je použití zejména plátovaných trubek v energetice perspektivní.

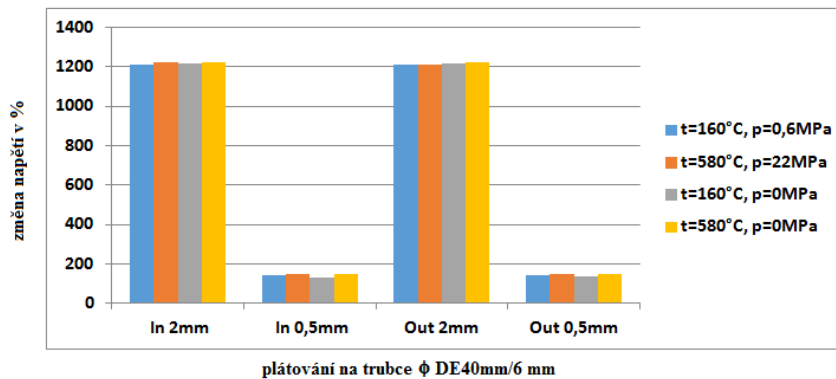
### **Poděkování**

Tento příspěvek vznikl za podpory TA ČR v rámci řešení projektu č. TA03010150 programu ALFA3 a za podpory MPO ČR v rámci řešení projektu č. LO1207 programu NPU1.

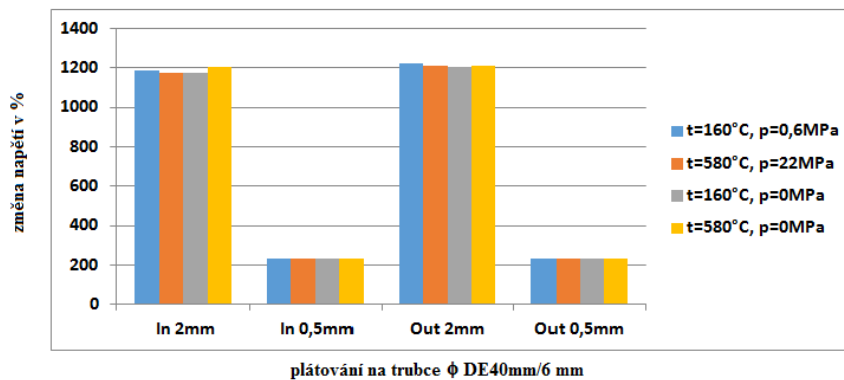
### **Literatura**

- [1] BERG, B., SCHNAUT, U. (2009): *A new production method for CRA Lined Steel Pipe based on sheet metal*. In: 4 th Pipeline Technology Conference 2009. Hannover, Germany.
- [2] [Clad Pipe Companies. Company-list.org \[online\]. 2017 \[cit. 2017-08-24\]. Dostupné z: http://www.company-list.org/products/clad\\_pipe.html](http://www.company-list.org/products/clad_pipe.html)
- [3] [List of Clad Pipe Companies. Listofcompaniesin \[online\]. 2017 \[cit. 2017-08-24\]. Dostupné z: http://www.listofcompaniesin.com/product-s/clad-pipe/2.html](http://www.listofcompaniesin.com/product-s/clad-pipe/2.html)
- [4] JANOVEC, J., HORVÁTH, J. (2016): *Použití plátovaných trubek pro tlaková zařízení*. In: *Tlak 2016*. Líbeznice: Medim, s. 55-62. ISBN 978-80-87140-41-3.
- [5] HORVÁTH, L., SVOBODOVÁ, M., HORVÁTH, J., JUNEK, M. (prosinec 2016): *Závěrečná zpráva k projektu „Výzkum vlastností a chování tlustostěnných plátovaných trubkových ohybů v podmínkách ekonomicky významných aplikací, včetně zvládnutí jejich výroby ověřené certifikovaným orgánem s evropskou působností“*, Program TA ČR ALFA3, Zpráva UJP 1749

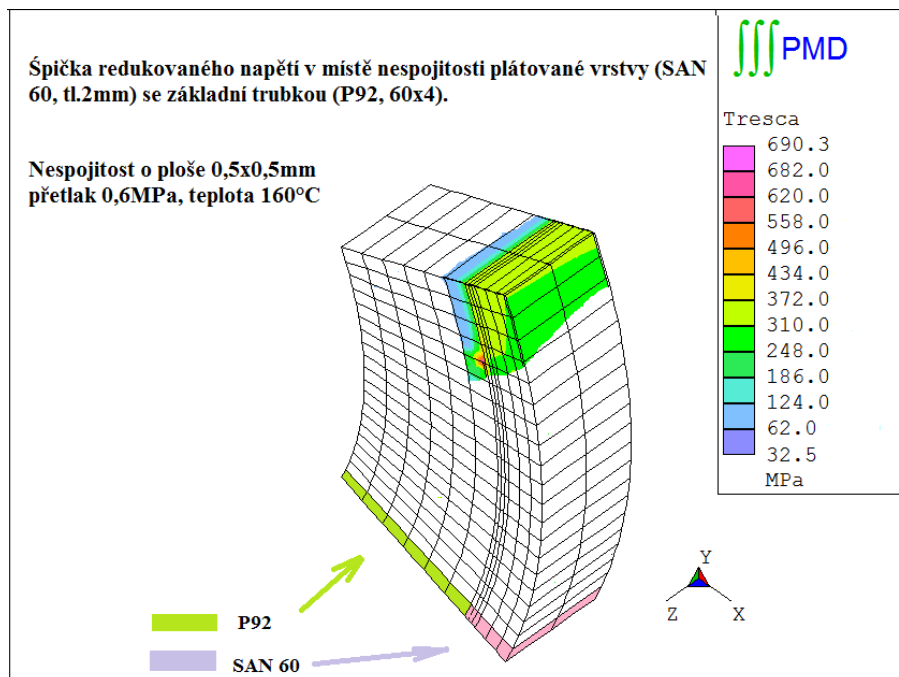
Procentuální změna napětí  $\sigma_{zz}$  na styku ocele P92 a plátované vrstvy při požití niklové slitiny SAN 28 místo SAN 60



Procentuální změna redukovaného napětí HMH na styku ocele P92 a plátované vrstvy při požití niklové slitiny SAN 28 místo SAN 60



Obr. 1 Zásadní vliv teplotní roztažnosti na napětí ve styku kovů



Obr. 2 Koncentrace napětí v místě nespojitosti