

Tepelné poškozování průmyslových zařízení

V průmyslové praxi se velmi často setkáváme s tepelnou únavou. Ta může být způsobena častými změnami provozních podmínek, nestacionárním rozložením teplotních polí, či zatížením vysokými teplotami (creep). Ve všech těchto případech dochází k poškozování zařízení, a tím ke snižování jejich životnosti, která je velmi důležitá pro provozovatele zařízení. Je proto nezbytné, aby veškeré kritické provozní stavy (ať už normální, abnormální či havarijní) byly podrobeny důkladným analýzám a byla známa míra podílu na snižování životnosti zařízení. Důležité je pak upravit provozní podmínky tak, aby těmto stavům bylo možné předejít nebo alespoň zmírnit jejich dopad na míru poškození. Předkládaný příspěvek je věnován tepelné únavě částí zařízení, kde dochází ke směšování horkých a chladných médií. Jedná se zejména o vzájemné napojení potrubních sítí, o hrdla aparátů a o zařízení na výměnu tepla.

Pojem únava je v rámci technické terminologie používán pro popis degradace materiálu v čase vlivem působícího cyklického zatížení. Únavový proces zahrnuje tři časově následující, a do jisté míry překrývající se, stádia. První stádium je charakteristické změnou mechanických vlastností materiálu. Následuje stádium nukleace trhlin, které se týká jen malé části objemu materiálu zpravidla v povrchové vrstvě součásti (zkušební tělesa). Třetím stádiem je růst trhliny, který je determinován vlastnostmi plastické zóny v blízkém okolí čela trhliny. V případě tepelné únavy vzniká cyklické zatížení v důsledku změny teploty. Problematiku tepelné únavy lze s ohledem na výši provozní teploty rozčlenit na dvě skupiny [1], přičemž v první skupině se může vyskytovat kombinace mechanismů tepelné únavy a creepu [2]:

- provozní teploty od 350 °C do 650 °C,
- provozní teploty do 350 °C.

Do první skupiny lze zařadit zařízení klasických elektráren a zařízení petrochemického průmyslu např. výměníky tepla, pece atd. Mezi zařízení, která pracují v rámci druhé skupiny, patří komponenty primárního a sekundárního okruhu jaderných elektráren. Tepelná únava je považována za hlavní příčinu degradace vlastností materiálu (stárnutí) kompenzačních, sprchových a odbočných potrubních soustav a s nimi spojených hrdel, která jsou vystavována teplotním výkyvům nejen při běžném provozu, ale zejména při najíždění a odstavování reaktorů.

Teplotní šok lze charakterizovat jako výraznou změnu teploty v lokální oblasti ve velmi krátkém časovém úseku, což vyvolá vznik nežádoucí napjatosti v tepelně ovlivněném objemu materiálu. Teplotní šok může být v některých případech spojen s náhlým nárůstem vnitřního tlaku [3]. K teplotním šokům může docházet v případě regulace, kdy chladné nebo naopak horké médium je vysokou rychlostí dopravováno do míst s ustálenou odlišnou teplotou. Typickým příkladem míst výskytu tohoto typu zatížení jsou hrdla kompenzátorů objemu a havarijní potrubí. V průběhu odvodu média z kompenzátoru

objemu prochází vlna relativně studeného média hrdlem horké větve kompenzačního potrubí, což vede k vyvolání teplotního šoku, který může ovlivnit i potrubí přiléhající k tomuto hrdlu. Opačná situace nastává při přívodu horkého média do kompenzátoru objemu. Střídání přítoků a odtoků média má za následek vznik cyklického zatěžování, jehož významnost závisí na rychlosti lokálního ohřevu resp. ochlazení a frekvenci střídání mezi přítoky a odtoky média. Metodologie hodnocení teplotních šoků v kombinaci s náhlým nárůstem tlaku pro francouzské jaderné elektrárny je obsažena v práci [3].

Postupy řešení vzájemných interakcí kapalin a pevných látek

Pro případy vzájemných interakcí kapalných a pevných látek, pokud se jedná o proudění či směšování proudů médií (nestacionární teplotní pole) nebo výměnu tepla, je vhodné využít numerických simulačních programů. Problematiku proudění (včetně přestupu tepla do materiálu zařízení či potrubí) je vhodné řešit pomocí CFD simulací. Tím je získáno rozložení teplotních polí a následně je možné stanovit rozložení napjatosti v materiálu pomocí programů založených na metodě konečných prvků (FEM). Kombinace tepelně-hydraulických a strukturálních analýz jsou nazývány „Fluid Structure Interaction“ (FSI). Jedná se o soubor úloh, kde výstupní hodnoty jedné analýzy jsou vstupními okrajovými podmínkami analýzy jiné. Je tedy možný přenos dat z CFD do FEM software a naopak. Dříve bylo nutné provádět transport dat manuálně nebo pomocí vytvořených procedur. V současné době, kdy dochází ke slučování CFD a FEM softwarů, jsou řešeny tyto transformace zcela automaticky.

Výsledky prováděných analýz je však nutné podrobit verifikaci, aby byla ověřena jejich správnost a bylo možné je považovat za věrohodné. Nejlepším způsobem je provádění měření na zařízení a současně simulace provozních podmínek. Vzájemnou verifikaci je pak možné sladění výpočtového modelu tak, aby byly získávány výsledky numerických analýz s minimální odchylkou od reálně naměřených hodnot.

Případ napojení potrubních sítí

Analyzované geometrie

Počet geometrických provedení napojení potrubí je značné. Zde je uvedeno pouze několik způsobů nacházejících se zejména v chemickém, ale i v energetickém odvětví průmyslu. Jejich geometrii je možné rozčlenit na jednoduché (základní), kdy se jedná pouze o napojení dvou potrubí a na složitější, kdy je v místě napojení použito přechodového prvku, který svým provedením snižuje špičky napětí nebo má význam z hlediska technologie procesu.

V následujících odstavcích jsou popsány čtyři geometrie, které byly předmětem důkladných analýz (viz obr. 1):

■ jednoduché napojení potrubí

Jedná se o nejjednodušší způsob napojení potrubí, kdy je v konkrétním místě v hlavním potrubí zhotoven otvor s opracovanými hranami. Napojená větev je v tomto místě přivařena svarovým spojem provedeným po celé tloušťce stěny.

■ jednoduché napojení potrubí s antikoročním návarem či vložkou

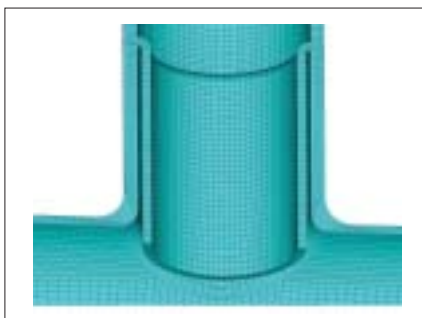
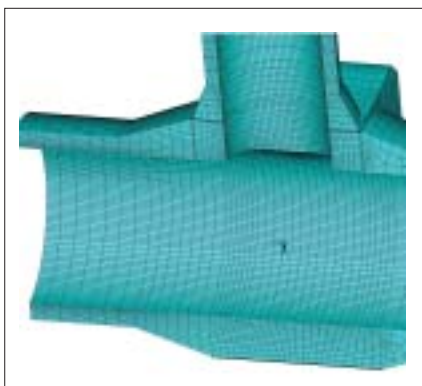
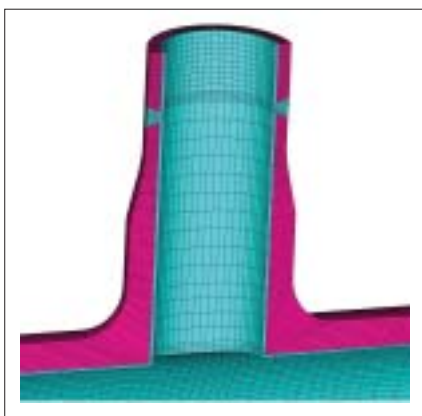
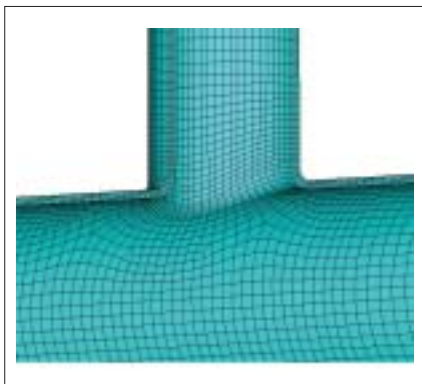
Tento způsob je výrobně podstatně náročnější, neboť potrubí musí být opatřeno antikoročním návarem (na obr. 1 znázorněno tenkou vrstvou) nebo vložkou z austenitického materiálu. Nejprve se vytvoří ochranný návar hlavního potrubí a hrdla, po té jsou svařeny hlavní části potrubí feritickým materiálem (hlavní potrubí a hrdlo) a jako poslední se dovaří antikorozní vrstva, aby byla celistvá a nepřerušovaná. Navazující potrubí je pak s hrdlem svařeno antikorozním svarovým spojem, aby nedošlo k narušení ochranné vrstvy.

■ napojení potrubí prostřednictvím kovaného bloku

Spojení potrubí užitím kovaného bloku je speciálním případem pro velmi vysoké tlaky, který není běžně používán. Napojení potrubí je v krátké vzdálenosti od kuželových výstupů z bloku. Svařované hrany jsou opracovány pro vytvoření svarového spoje. Hrana, která tvoří kolmé napojení potrubí, není zaoblena, což lze přisuzovat technologii výroby výkovku.

■ napojení potrubí prostřednictvím T-kusu s košílkou

Posledním analyzovaným případem bylo hrdlo, které mělo střední část vytvořenu jako celek a na ni byl shora navařen prstec s košílkou. Až k této vzniklé sestavě je možné připojit potrubní síť. Tato hrdla jsou určena pro zamezení tepelného ovlivňování hlavního potrubí v místě napojení.

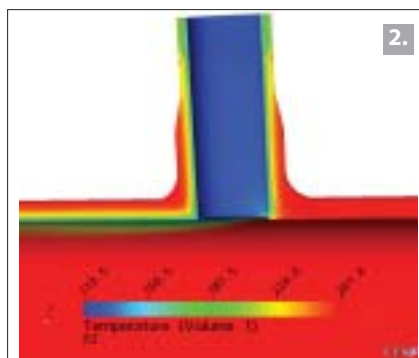
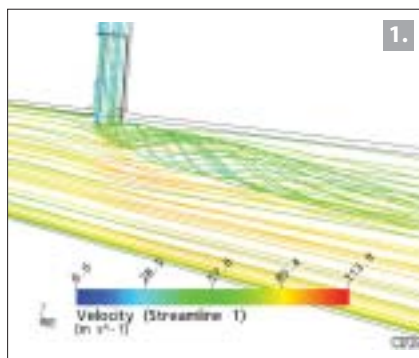


Obr. 1 - Různé způsoby napojení potrubních sítí

U těchto případů byl sledován vliv světlost potrubí a rychlostí směřovaných proudů na charakter proudění, který je přímo závislý na tepelně ovlivňovaných oblastech. Dále byly sledovány nejvíce zatěžované oblasti, vliv geometrie provedení a vliv teplotní difference na míře poškození potrubí. Analýzy byly prováděny jak pro plynná, tak pro kapalná média, vždy však pro směřování pouze jedné fáze, a pro feritické a austenitické materiály, včetně jejich vzájemných kombinací.

Rozbor získaných výsledků

Při směřování proudů rozdílných teplot a rychlostí je z hlediska rozložení teplotních polí velmi důležitý charakter ustálení proudu z napojené větve. Mohou nastat tři případy. Pokud v hlavním potrubí proudí médium vysokou rychlostí a v napojené větvi nízkou, dochází ke strhávání proudu média z napojené větve hlavním proudem a je tepelně ovlivňována horní část hlavního potrubí (viz obr. 2). Pokud je naopak v hlavním potrubí rychlost média nízká a v napojené větvi vyso-



Obr. 2 - Výsledky CFD analýz (1. proudnice, 2. rozložení teplotních polí na začátku děje ochlazování potrubí)

ká, dochází k narážení proudu z napojené větve na stěnu hlavního potrubí a tepelně je ovlivňována spodní část hlavního potrubí. Mezi těmito krajními případy existuje stav, kdy se proud z napojeného potrubí ustálí uprostřed média v hlavní větvi a nedochází k významnému tepelnému ovlivňování hlavního potrubí. K tepelnému poškození hrdla dochází v každém z uvedených případů.

Z provedených analýz bylo zjištěno, že z hlediska poškození je významná velikost teplotní difference, geometrie napojení potrubí a četnost změn rychlostí proudů při provozu. Tyto důležité aspekty však vůbec nejsou zmiňovány v normách používaných pro pevnostní kontrolu hrdel na aparátech a potrubních sítích. Jejich uvedením, by bylo možné eliminovat případy poškození napojení potrubí vlivem tepelné únavy.

Díky důkladným analýzám byla určena přijatelná teplotní difference směšovaných proudů, která byla stanovena na 100 °C. Jestliže jsou hodnoty teplotních rozdílů proudů médií nižší, lze považovat kumulaci poškození za zanedbatelnou. Toto tvrzení je však nutné ověřit v průmyslové praxi, neboť není známa přípustná míra poškození pro jeden případ vstříku média do potrubí. Z odborných publikací je znám případ, kdy dokonce teplotní difference proudů 70 °C způsobila poškození potrubí.

Při teplotní diferencii proudů 500 °C byla v místě napojení potrubí stanovena kumulace poškození v jednotkách procent (zhruba 2,7 %), při teplotní diferencii 100 °C bylo dosahováno řádově nižších hodnot (zhruba 0,14 %).

Vliv rychlostí směšovaných proudů byl taktéž řádně podroben důkladné analýze a bylo zjištěno, že nejhodnějším charakterem směšování proudů je charakter, kdy nedochází k ovlivňování hlavního potrubí. Aby nedocházelo k tepelnému ovlivňování hlavního potrubí i při nižším průtoku v napojené větvi, je vhodné použití vnitřní košíčky, která oddálí tepelně ovlivněnou oblast od místa napojení obou potrubí. V chemickém průmyslu jsou používána napojení potrubí s vnitřními rukávci, kterými je médium distribuováno přímo do středu hlavního proudu.

Při provozu hrdel je vhodné, aby procesy směšování proudů byly plynulé, což není v některých případech z provozních důvodů možné. Časté a náhlé změny rychlostí směšovaných proudů nejsou z hlediska poškození potrubí nikterak příznivé. Díky nim dochází k střídavým změnám ovlivňovaných oblastí nebo k teplotním šokům v povrchových vrstvách potrubí. Velmi nebezpečnými místy jsou zejména svarové spoje a jejich tepelně ovlivněné oblasti. Pokud není možné změnit provozní podmínky, je nutné přistoupit k úpravě geometrie napojení potrubí.

Velmi nebezpečnými se jeví hranice austenitických návarů a základních feritických materiálů, kde je v důsledku rozdílných teplotních roztažností vyvolávána vysoká napjatost, což není příznivé z hlediska únavového poškození.

Případ zařízení pro čištění spalin

Analyzovaný problém

Ústav procesního a ekologického inženýrství VUT v Brně zkoumal mokré čištění spalin, kdy byla odstraňována síra pomocí nástřiku vody do proudících spalin v O-kusu [4], [5]. Jelikož při najíždění procesu čištění docházelo k teplotním šokům v důsledku chlazení horkých spalin studenou vodou, byl tento kus podroben tepelně-hydraulické a následně napěťové analýze, aby bylo možno stanovit, do jaké míry je těmito ději snižována jeho životnost.

O-kus byl vyroben z potrubí o průměru 100 mm a tloušťce stěny 4 mm. Použitým materiálem byla ocel 15 128 (11CrMo9-10). Vstupní potrubí je rozvětveno do dvou potrubí ve tvaru U (viz obr. 3), kde ve spodní části je tangenciálně napojeno potrubí průměru 69 mm o tloušťce stěny 3 mm, do kterého jsou instalovány trysky. Těmi je ve směru toku spalin vstřikována voda. V místě střetu proudů jsou obě potrubní větve opět svedeny do jedné větve.



Obr. 3 - Způsob provedení O-kusu

Při provádění experimentálních zkoušek čištění spalin byl hledán ideální poměr mezi průtokem spalin a průtokem vstřikované vody. Průtok spalin byl měněn v rozmezí od 700 do 1 000 m³/h a vody od průtoku 0,68 do 2,15 m³/h [6]. Ze všech analyzovaných případů byl pro numerické simulace proudění a napjatosti vybrán případ, kdy průtok spalin je nízký a množství vstřikované vody největší. Tedy jedná se

o případ, kdy průtok spalin byl 800 m³/h a vody 2,15 m³/h. Teplota spalin vstupujících do O-kusu byla 200 °C a vody přiváděné do trysek 20 °C.

Okrajové podmínky a nastavení simulací

Při numerických simulacích bylo nutné použít modely, které řeší dvofázové proudění. Pro případy disperze (rozstřikování) kapalného média v plynném médiu je nevhodnější použít modelu trajektorie částic (přístup Euler-Lagrange) [7], [8], který popisuje primární fázi jako kontinuum pomocí časově zprůměrovaných Navier-Stokesových rovnic a u sekundární fáze je sledována dráha letu kapiček, které si s primární fází mohou předávat hybnost, hmotu a energii. Základní podmínkou této metody je, že sekundární fáze zaujímá velmi malý objemový zlomek, což je v případě O-kusu splněno.

Jako model turbulence byl použit kepsilon model [9]. Přenos hybnosti byl realizován pomocí unášecího koeficientu (Drag Coefficient). Plynné médium bylo zadáno jako continuum a kapalně jako disperze se zadanou velikostí průměru kapiček 10 mm [6]. Pro mezifázový přenos byl použit částicový model (Particle Model). Přestup tepla mezi spalinami a kapkami vody byl zadán Nusseltovým číslem, respektive korelací Ranz-Marshall. Přestup hmoty byl zadán konstantní výparnou rychlostí, která byla převzata z práce [6]. Inicializace a vstupní podmínky byly zadány dle provozních podmínek proudících spalin.

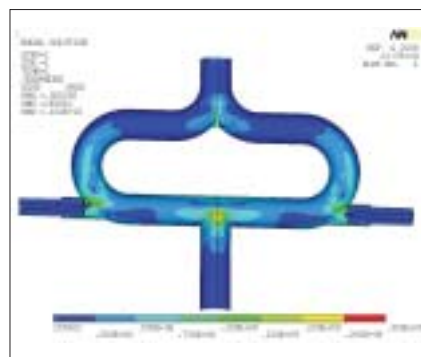
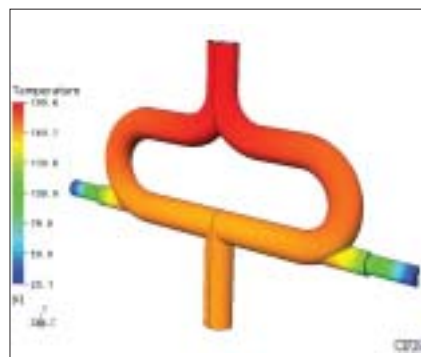
Tepelně-hydraulická analýza vstřikování kapalného média do horkého plynu byla řešena jako časově proměnná úloha. Tedy bylo nutné vhodně zvolit časové kroky, kterými bude výpočet řízen. Nejdůležitějším okamžikem, kdy může dojít k nestabilitě výpočtu, je okamžik vstřiku kapaliny do O-kusu. V tento okamžik byl nastaven minimální časový krok a dostatečný počet iterací.

Rozbor získaných výsledků

Na začátku děje je potrubí rozehráno na teplotu spalin (200 °C) a při spuštění procesu čištění spalin dochází k náhlému vstřiku chladného média (20 °C). V povrchových vrstvách materiálu dochází k šokovým změnám a vyvolání přídavných napětí v důsledku rozdílné teplotní roztažnosti. V průběhu několika málo minut je ustáleno rozložení teplotních polí. K nejvýznamnějšímu teplotnímu ovlivnění dochází zejména v místě trysek a to v ostrých hranách nad tryskami. Z rozboru tepelně-hydraulické analýzy byly vybrány časové okamžiky, kdy dochází k významným rozložením teplotních polí, která mají zásadní vliv z hlediska napjatosti. Okamžitě po

nástřiku vody je teplota spalin výrazně nižší. Objemová frakce kapaliny je vzhledem ke spalinám velmi nízká. Jelikož zde proudí kapky ve stejném směru jako spalin, je dosahováno lepších výsledků, než u jiných způsobů čištění spalin (např. Venturiho pračka), kde je nástřik kolmý na proud čištěného plynu.

V oblasti rozvětvení hlavního potrubí na dva proudy dochází v ostrém napojení ke koncentraci napětí. Napjatost zde dosahuje zhruba hodnot kolem 75 MPa (viz obr. 4). Tato napětí se však v průběhu nástřiku vody do O-kusu nikterak vý-



Obr. 4 - Rozložení teplotních a napěťových polí

razně nemění, proto je toto místo z hlediska posouzení na únavu nevýznamné. Důležitějšími oblastmi jsou místa napojení trysek na O-kus, zejména oblasti nad tryskami, kde je napojení provedeno velmi ostrou hranou. Zde se vyskytuje napjatost zhruba 200 MPa. V průběhu ochlazování dochází ke změnám v rozmezí několika desítek MPa. Nejkritičtější oblastí je místo, kde je na O-kus napojeno potrubí pro odvod spalin. Zde dochází ke střetu obou proudů a svedení do jednoho potrubí. Napojení potrubí stejných rozměrů zde není velmi dobře vyřešeno, proto jsou vyvolávány v místech koncentrací vysoké napjatosti, lokálně až 300 MPa, ale po hranách opět zhruba 200 MPa. V průběhu ochlazování dochází ke změnám v rozmezí několika desítek MPa. Posouzením na únavu bylo zjištěno, že kumulace poškození v kritických oblastech jsou zanedbatelné (v řádech setin procent).

Případ spalínového výměníku pro předešlé vzduchu

Analyzovaný problém

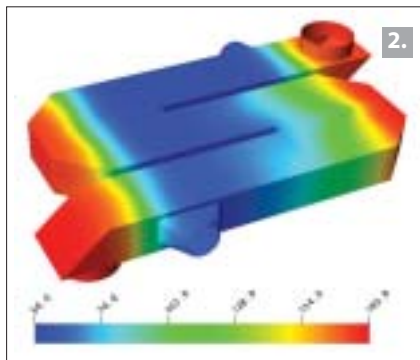
V řešeném výměníku dochází k výměně tepla mezi spaliny a vzduchem v protiproudém uspořádání. Byla řešena pouze primární část výměníku, vzhledem k rozměrům, geometrické náročnosti a následné velikosti výpočtového modelu. V trubkovém prostoru proudí spaliny o průtoku 3 200 m³/h. Výpočtem bylo určeno, že v primární části je průtok 853,3 m³/h. Na vstupu do výměníku mají spaliny teplotu 180 °C a na výstupu z výměníku teplotu zhruba 90 °C. V mezitrubkovém prostoru proudí vzduch o průtoku 900 m³/h. Pro primární část byl určen průtok 300,9 m³/h. Vzduch má na vstupu do výměníku teplotu 50 °C a na výstupu z výměníku teplotu zhruba 130 °C.

Pro analýzu přestupu tepla mezi médii a materiálem tepelného výměníku byl použit program ANSYS CFX. Jako okrajové podmínky byly zadány vstupní parametry, na výstupu byla ponechána volná podmínka, kdy rychlosti a teploty jsou dopočítávány ze vstupních parametrů a přestupu tepla. Dále byly zadány tlaky pracovních látek. Ztráty tepla do okolního prostředí byly zanedbány (výměník se nachází v uzavřeném prostoru). Použitým modelem turbulence byl klasický model k-epsilon. Dále byly zadány termofyzikální vlastnosti proudícího média (spaliny) a materiálu výměníku v závislosti na teplotě. Termofyzikální vlastnosti vzduchu byly brány z databáze výpočtového programu. Jelikož nebyl důležitý časový průběh výměny tepla, byla úloha počítána jako ustálený stav. Na obr. 5 - 1 vlevo je možné vidět zadané okrajové podmínky na vstupních a výstupních plochách pro tepelně-hydraulický výpočet primární části výměníku.

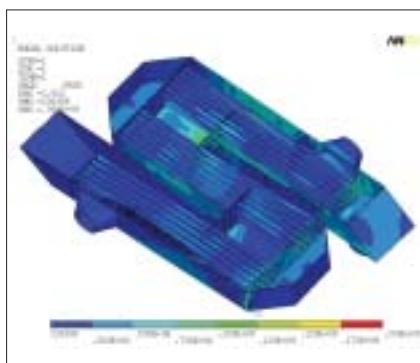
Rozbor získaných výsledků

Na obr. 5 je znázorněno získané rozložení teplotních polí pro ustálené proudění. Jsou zde zřetelně patrné horké a chladné oblasti. Jelikož nebyl řešen celý výměník, ale pouze jeho primární část, není na výstupu dosahováno teplot, které byly uvedeny výše. Teplotní spád je zde podstatně nižší. Hlavním cílem bylo prověření přestupu tepla konkrétní geometrie a získání potřebných součinitelů přestupu tepla pro ověření správnosti výpočtového postupu.

Pro získané rozložení teplotních polí byla provedena napěťová analýza, kterou bylo zjištěno, že se v plášti primární části výměníku nevyskytuje nikterak významná napjatost (viz obr. 6). Nejvyšší napjatost je vyvolána v lokální oblasti přivaření plechů stěny výměníku. Zde byla mírně překročena mez kluzu, tedy v této oblasti dojde



Obr. 5 - Okrajové podmínky (1.) a rozložení teplotních polí (2.)



Obr. 6 - Rozložení napjatosti ve výměníku

k lokální plastické deformaci, což není nikterak významné. Ostatní napětí v plášti byla pod mezí kluzu, tedy lze říci, že nehrozí poškození v důsledku provozních podmínek.

Závěr

Z rozboru tepelného zatížení provozních zařízení různých druhů je zřejmé, že tento způsob zatížení může být v některých případech zanedbatelný, ale v jiných téměř zásadní. Neměl by být proto podceňován a opomenut. Jak již bylo řečeno, velmi důležitým faktorem jsou provozní podmínky zařízení a průběh jejich častých změn, což může způsobovat snižování životnosti zařízení.

Tepelné poškození se týká zařízení, která jsou vystavena vyšším teplotám a kde za provozu mohou vznikat nestacionární teplotní pole. Zejména se jedná o najíždění zařízení, zásadní změny režimů,

či havarijní stavy, kdy není možné dodržet plynulost změn provozních parametrů. Pokud není možné přizpůsobit provozní podmínky, je řešením navrzení účinných geometrických úprav, které pomohou snížit poškození zařízení a zaručit tak jeho dlouhodobější technickou životnost.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě podpory výzkumného záměru MŠMT č. MSM 0021630502 „Ekologicky a energeticky řízené soustavy zpracování odpadů a biomasy“.

LITERATURA:

- [1] Virkkunen, I. *Thermal Fatigue of Austenitic and Duplex Stainless Steels*, Dissertation, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Espoo, Finland, 2001.
- [2] Chang, J. C., Yun, Y. H., Choi, C., Kim, J. C. *Failure Analysis of Gas Turbine Buckets*, Eng. Failure Analysis, 2003, vol. 10, pp. 559-567.
- [3] Moinereau, D., Bezdikian, G., Faidy, C. *Methodology for pressurized thermal shock evaluation: recent improvements in French RPV PTS assessment*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2001, vol. 78, pp. 69-83.
- [4] Buchta, J., Filip, M., Bébar, L., Stehlík, P., Šarlej, M. *New design in off-gas clearing systems supported by experimental and computational approach*, Chemical Engineering Transactions 7, 2005, vol. 7, pp. 375-380.
- [5] Moinereau, D., Bezdikian, G., Faidy, C. *Methodology for pressurized thermal shock evaluation: recent improvements in French RPV PTS assessment*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2001, vol. 78, pp. 69-83.
- [6] Piskovský, M. *Modelling of equipment used in waste combustion and off-gas cleaning systems*, Ph.D thesis, Brno University of Technology, Brno, 2008.

Další zdroje informací:

- Kleinstreuer, C. *Two-phase flow, Theory and applications*, New York, London, Taylor & Francis, 2003.
- Whalley, P.B. *Two-phase flow and heat transfer*, Oxford, New York, 1996.
- Shih, T.H., Lion, W.W., Shrabir, A., Yang, Z., Zhu, J. *A new k-ε eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flow – model development and validation*, Computers Fluid 24, 1995, vol. 3, pp. 227-238.

Ing. Richard Nekvasil, Ph.D.,

Ústav procesního a ekologického inženýrství,
Fakulta strojírenského inženýrství,
Vysoké učení technické v Brně,
nekvasil@upei.fme.vutbr.cz

Thermal damage to industrial facilities

Thermal fatigue is frequently met in industry. It can be caused by frequent change of operating conditions, non-uniform distribution of thermal fields, of loading by high temperatures (creep). In all these cases equipment is damaged and their lifetime is shortened, which is very important for equipment manufacturer. It is therefore necessary that all critical operating modes (normal, abnormal or emergency) are examined in details and

the rate of lifetime shortening is known. It is necessary to change operating conditions so that these modes are escaped or their influence is limited. The paper offered is devoted to thermal fatigue of equipment where cold and hot media is mixed. It is meant connection of piping systems, equipment nozzles and heat-exchangers.

Термические повреждения промышленного оборудования

В промышленности часто имеет место температурная усталость. Она может быть вызвана изменением условий работы, неравномерным разложением температурных полей, нагрузкой высокими температурами (течение материала при высоких температурах). Во всех этих случаях происходит повреждение оборудования и уменьшение срока его службы, что очень важно для пользователя оборудования. Поэтому необходимо, чтобы все критические режимы работы (нормальные, абнормальные или аварийные) были подробно

проанализированы и была известна доля их участия в общем повреждении оборудования. После этого важно изменить условия эксплуатации так, чтобы такие режимы работы не наставали, или при их наступлении имели меньшее влияние на общий срок службы. Данная статья посвящена температурной усталости оборудования, когда имеет место смешивание горячего и холодного потоков. Речь главным образом идёт о соединении труб, патрубки аппаратов, теплообменного оборудования.



čeps, a.s.

JIŽ 10 LET
VEDEME ELEKTŘINU NEJVYŠŠÍHO NAPĚTÍ 220 / 400 kV

Akciová společnost ČEPS je provozovatelem přenosové soustavy České republiky. ČEPS přenosovou soustavu řídí a rozvíjí jako součást evropské elektrizační sítě. ČEPS zajišťuje všem účastníkům trhu s elektřinou rovné a transparentní podmínky pro přístup k přenosové soustavě. ČEPS zajišťuje rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v každém okamžiku.

ČEPS, a.s., Elektrárenská 774/2, 101 52 Praha 10, tel.: +420 211 044 111, fax: +420 211 044 568, e-mail: ceps@ceps.cz www.ceps.cz