

VÝVOJ PROCESU REGENERAČNÍHO ŽIHÁNÍ VNITŘNÍCH ČÁSTÍ REAKTORU VVER-440 PRO ZAJIŠTĚNÍ DLOUHODOBÉHO PROVOZU

DEVELOPMENT OF THERMAL ANNEALING PROCESS OF WWER-440 INTERNALS FOR PROVIDING A LONG-TERM OPERATION

Petra Petelová^{a)}, Barbora Marešová^{a)}, Ondřej Buršík^{a)}, Radim Kopřiva^{a)} a Aleš Materna^{b)}

^{a)} ÚJV Řež, a. s.

^{b)} České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Abstrakt

Vnitřní části reaktorů jaderných elektráren jsou vystaveny nepříznivým vlivům provozních podmínek (vysokému tlaku a teplotám, neutronovému toku, koroznímu prostředí), které způsobují postupnou degradaci jejich mechanických vlastností. Regenerační žihání může být prostředkem pro obnovení původních vlastností materiálů vnitřních částí reaktorů a může tak přispět k zajištění dlouhodobého provozu reaktorů. Příspěvek pojednává o průběhu vývoje certifikované metodiky regeneračního žihání materiálů vnitřních částí reaktorů typu VVER-440 a představuje první výsledky týkající se žihání neozářených materiálů a jejich následného mechanického testování.

Abstract

Reactor pressure vessel internals of nuclear power plants are exposed to severe operating conditions (high pressure and temperatures, neutron flux, corrosion environment), which cause gradual degradation of their mechanical properties. Thermal annealing can be one of the possible solutions to provide and re-establish initial mechanical properties of reactor pressure vessel internals and thus can contribute to long term operation of nuclear power plants. This paper is about development of certified methodology of thermal annealing of RPV internals and it introduces first results of thermal annealing of unirradiated material and following mechanical testing.

Úvod

Regenerační žihání tlakových nádob reaktorů (TNR) se stalo verifikovanou technologií pro obnovu mechanických vlastností použitých materiálů. První výzkum v této oblasti začal již v 70. letech 20. století. [1, 2]

Naproti tomu vnitřní části reaktorů (VČR), které jsou během provozu vystaveny silnému ionizujícímu záření a nepříznivému prostředí chladiva [3], nejsou monitorovány žádnými svědčnými programy a žádný proces pro obnovení mechanických vlastností dosud nebyl realizován.

ÚJV Řež, a. s., Divize integrita a technický inženýring ve spolupráci s Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze realizuje mezi lety 2017 až 2020 projekt pro zajištění dlouhodobého provozu VČR, jehož hlavním cílem je návrh, vývoj a certifikace postupu pro obnovení výchozích vlastností vysoce ozářeného materiálu VČR typu VVER-440 metodou regeneračního žihání. Úspěšné řešení tohoto projektu pomůže přispět k prodloužení životnosti jaderné elektrárny a zároveň ke snížení množství radioaktivního odpadu.

Plán projektu

Prvním krokem řešení projektu bylo navržení vhodných žihacích režimů a jejich následná aplikace na výchozí (neozářené) materiály VČR. Znalost mechanických vlastností výchozího materiálu VČR před a po žihání je důležitá z hlediska následného hodnocení výsledků zkoušek

na ozářeném materiálu. Základem experimentálního programu pro posouzení vlivu regeneračního žíhání na materiály VČR je stanovení hodnot tvrdosti podle Vickerse doplněné o měření instrumentované tvrdosti (metoda ABIT – Automated Ball Indentation Test) a zkoušky statické lomové houževnatosti na vzorcích typu mini CT (rozměr ZT je 10 x 10 x 4 mm). V závěrečné fázi experimentálního projektu bude také posouzena odolnost materiálů VČR vůči působení prostředí primárního okruhu JE prostřednictvím korozně mechanických zkoušek v autoklávu.

Na základě analýz materiálů VČR ve výchozím stavu je plánována selekce vhodného režimu pro aplikaci na ozářený materiál VČR. Mechanické vlastnosti budou měřeny na ozářeném materiálu před i po žíhání s použitím totožných experimentálních metod jako ve výchozím stavu.

Po potvrzení vhodnosti zvoleného žíhacího režimu bude následovat certifikace postupu pro regenerační žíhání materiálu VČR.

Materiál

Vnitřní části reaktoru typu VVER-440 jsou vyrobeny z austenitické oceli s označením 08Ch18N10T (ekvivalent oceli AISI 321). Pro řešení projektu má ÚJV Řež, a. s. k dispozici ozářený materiál z uzavřené JE Greifswald (VVER-440/213), která byla 15 let v provozu. Chemické složení materiálu i výsledná radiační dávka jsou uvedeny v tabulce 1 a v tabulce 2.

Pro první fázi projektu – žíhání neozářených materiálů – byla vyrobena zkušební tělesa z bloku materiálu 08Ch18N10T. Zkušební tělesa jsou kvádry o rozměrech 12 x 12 x 60 mm. Vybraná zkušební tělesa byla následně deformačně zpevněna – redukcí tloušťky zkušebního tělesa o 10 %, resp. o 20 %.

Žíhací pec a žíhací režimy

Laboratoř ÚJV Řež, a. s. je vybavena pecí, která je určena pro žíhání materiálů v ochranné atmosféře. Pec je navržena k následné instalaci do horké komory laboratoře, aby bylo možné žíhat ozářený materiál VČR.

V první fázi projektu bylo stanoveno pět žíhacích režimů – teploty: 550, 600, 700, 800 a 900 °C, rychlost ohřevu byla 10 °C/min a doba výdrže na teplotě byla zvolena 6 hodin. Zkušební tělesa byla žíhána na vzduchu a chladnutí probíhalo také na vzduchu při zavřené peci až do 50 °C, aby byl lépe simulován vliv velikosti žíhaných VČR.

Deformačně nezpevněná zkušební tělesa byla žíhána na všech pěti zvolených teplotách. Deformačně zpevněná tělesa byla žíhána při teplotách 550, 700 a 900 °C.

Průběh žíhání pro všechny zvolené teploty je uveden v grafu na obr. 1.

Měření tvrdosti

Měření tvrdosti neozářených zkušebních těles probíhalo před žíháním a po žíhání pro určení změny mechanických vlastností vlivem různých žíhacích teplot. Pro měření byl použit tvrdoměr Indentec ZHV30 určený pro měření tvrdosti dle Vickerse, který je instalován v polohorké komoře laboratoře a umožňuje v rámci projektu zkoušky v neozářeném a ozářeném stavu. Použitá zátěžná síla byla 49,03 N.

Výsledky měření tvrdosti jsou shrnuté v tabulce 3 a v grafu na obr. 2.

Závěr

Očekávaným výstupem provedených experimentů bylo snížení tvrdosti materiálu následkem žíhání. Toto bylo potvrzeno pro všechny žíhací teploty mimo teploty 700 °C, kdy došlo k menšímu snížení tvrdosti (v jednom případně dokonce k jejímu zvýšení). Důvodem tohoto zvýšení tvrdosti může být tzv. sekundární tvrdost.

Oblast žíhání okolo teploty 700 °C bude muset být dále prověřena, aby byl určen interval teplot, který nebude pro regenerační žíhání materiálů VČR vhodný. Dalšími kroky v řešení projektu budou zkoušky lomové houževnatosti na neozařených vzorcích před a po žíhání. Následovat bude selekce vhodného žíhacího režimu a jejich aplikace na ozařený materiál.

Projekt TH02020565 – „Zajištění dlouhodobého provozu vnitřních částí tlakových nádob reaktorů jaderných elektráren“ je řešen s finanční podporou TA ČR.

Literatura

- [1] ISOE European Technical Centre – CEPN Information Sheet No. 12 (1997): *Occupational exposure and reactor pressure vessel annealing*. (dostupné online na: <http://www.isoe-network.net/publications/pub-resources/pub-info-sheet/etc-information-sheets/198-etc-12/file.html>) (28. 8. 2017)
- [2] Brumovský, M., Ahlstrand, R., Brynda, J., Debarberis, L., Kohopaa, J., Kryukov, A., Server, W. (2008): *Annealing and re-embrittlement of RPV materials, State of the art report*. ATHENA WP-4, AMES Report N. 19. JRC 46534, EUR 23449 EN.
- [3] International Atomic Energy Agency (2007): *Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Vessels Internals*, 2007, IAEA-TECDOC-1557.

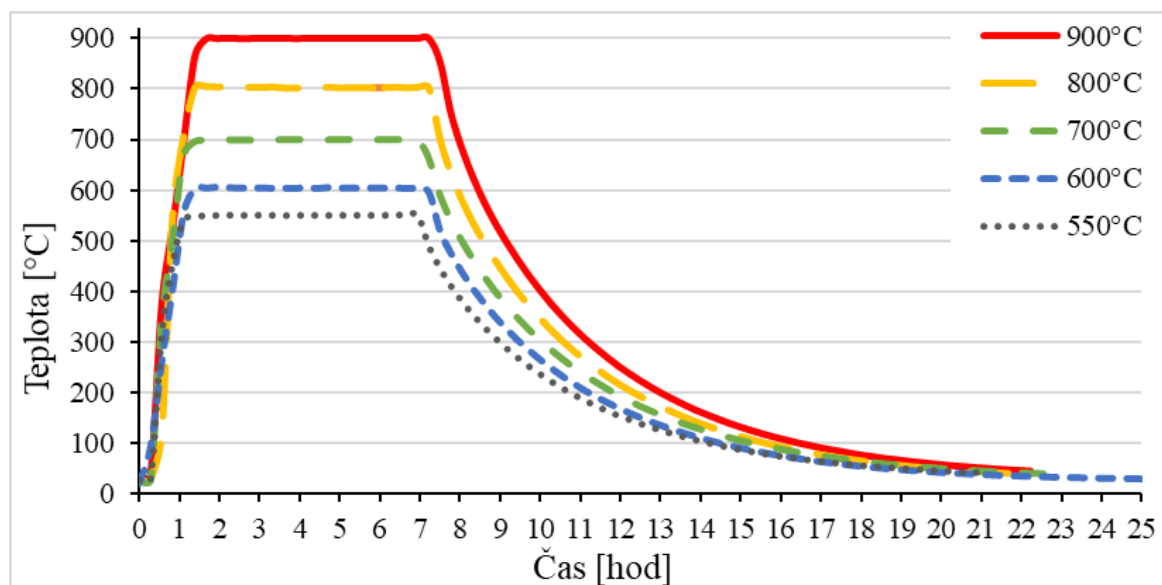
Tabulky a obrázky

Tabulka 1: Chemické složení materiálu 08Ch18N10T

Materiál	C	Mn	S	P	Ni	Cr	Ti
08Ch18N10T	≤ 0,08	1,0 – 2,0	≤ 0,02	≤ 0,035	9,0 – 11,0	17,0 – 19,0	≥ 5C ≤ 0,6

Tabulka 2: Výsledná radiační dávka pro zvolený materiál

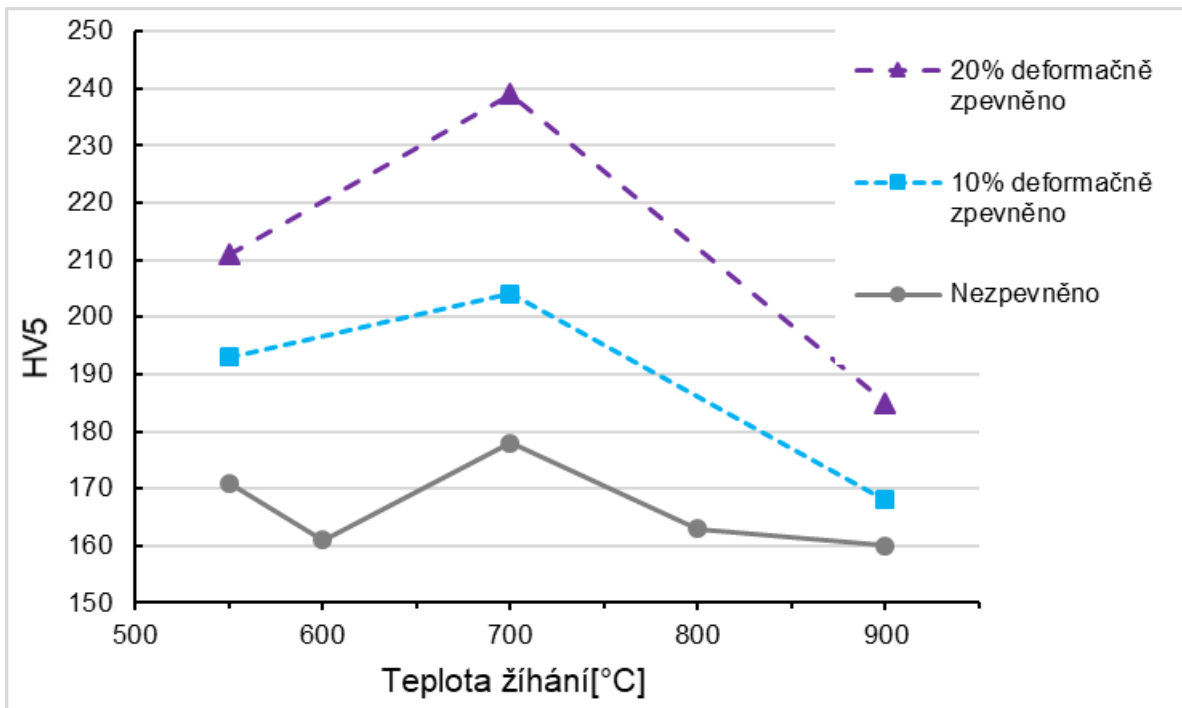
Ozařeno	2,4 dpa	5,2 dpa	11,4 dpa
Komponenta	Nosný válec 36 mm prstenec	Plášť koše aktivní zóny 32 mm prstenec	Hraněný plech 8 mm plát



Obr. 1: Záznam žíhacích režimů ze žíhací pece pro pět různých teplot

Tabulka 3: Výsledky z měření tvrdosti HV5 neozářeného materiálu před a po žíhání

STAV	ŽÍHACÍ TEPLOTA					
	Nežiháno	550 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
Nezpevněno	181	171	161	178	163	160
10 % deformačně zpevněno	192	193	-	204	-	168
20 % deformačně zpevněno	243	211	-	239	-	185



Obr. 2: Graf znázorňující změnu tvrdosti v závislosti na žíhací teplotě