Simulace opravy membránové stěny

Článek se zabývá simulací opravy membránové stěny vyrobené z oceli T24, která je náchylná na tepelné vlivy při svařování. Hlavní oblastí použití oceli T24 je konstrukce membránových stěn kotlů s nadkritickými parametry páry (tlak přes 260 barů a teplota do 600 °C). Z ekonomického hlediska je žádoucí, aby bylo možno membránové stěny konstruovat bez nutnosti aplikace předehřevu a pokud možno i bez tepelného zpracování. Teoretické poznatky však naznačují, že svařovaní oceli T24 bez následného popouštění není možné.

Svařitelnost ocelí T24 a T23

Ocel T23 s legující bází CrMoVWNbN byla vyvinuta v Japonsku, ocel T24 na bázi CrMoVTiN byla téměř současně vyvinuta v Německu. Filozofie vývoje ocelí T23 a T24 sledovala dva základní směry. V první řadě šlo o zvýšení žáropevnosti oproti konvenční 2,25%Cr1%Mo oceli, a to vhodným dolegováním karbidotvornými a nitridotvornými prvky, především vanadem, wolframem, titanem, molybdenem a niobem. Neméně důležitým cílem vývoje bylo zlepšení svařitelnosti těchto ocelí. Tohoto cíle se mělo dosáhnout snížením obsahu uhlíku pod 0,10 % [1, 2].

Snížení obsahu legujících prvků v ocelích T23 i T24 na hranici nezbytně nutnou pro zajištění jejich žáropevnosti snižuje hodnotu uhlíkového ekvivalentu a tím i potřebnou teplotu předehřevu při svařování. Hlavní oblastí použití těchto ocelí je výroba membránových stěn kotlů s nadkritickými parametry páry (tlak přes 260 barů a teplota do 600 °C). Z ekonomického hlediska je žádoucí, aby membránové stěny bylo možno vyrobit bez předehřevu a pokud možno i bez tepelného zpracování [1]. Zlepšení svařitelnosti těchto ocelí je dosaženo snížením obsahu uhlíku pod 0,1 % a nižším legováním Cr, Mo,V, W a B [3].

Obsah legujících prvků je v oceli snížen na minimum, tak aby byla zajištěna jejich žáropevnost. To vede i ke snížení potřebné teploty předehřevu při svařování. Pro svařování ocelí T23 se používají přídavné materiály 2,5-3Cr–1Mo, nebo přídavné materiály na bázi 2,2Cr–0,1Mo–0,25 V-1,5W-Nb. Pro svařování ocelí T24 pak přídavné materiály 2,5Cr–0,1Mo–0,25V–Nb případně 2,5Cr–1Mo–0,25V–Nb. Tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti svarových spojů oceli T23 dosahují ve stavu po svaření bez předehřevu 400 HV10. U ocelí T 24 potom tvrdosti až 450 HV10. Tyto hodnoty jsou však vyšší, než požaduje norma ČSN EN ISO 15614-1 ke schválení postupu svařování.

Provoz při teplotě 519 °C po dobu 14 000 hodin zapříčinil pokles tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti oceli T23 na 250 HV a u oceli T24 na 300 HV10 [1].

U svarových spojů nízkolegovaných CrMoV ocelí se po svaření obvykle požaduje tepelné zpracování při teplotách 680 až 730 °C. Účelem tepelného zpracování je dosáhnout ve svarovém kovu a v TOO svarového spoje mikrostruktury a disperze vytvrzujících částic, která se bude blížit základnímu materiálu. Při tavném svařování dojde v TOO k rozpuštění částic disperzních precipitátů a k jejich koagulaci a růstu. Při ochlazování svarového kovu se vyprecipituje pouze část disperzních částic a dojde ke změnám počtu velikosti a vzájemné vzdálenosti částic, které způsobí snížení žáropevnosti tepelně nezpracovaných svarových spojů. Za provozní teploty dochází z počátku k precipitaci zpevňujících částic a k vytvrzování svarových spojů. Jeho intenzita je dána provozní teplotou a časem exploatace. Toto vytvrzování může být příčinou praskání nepopouštěných membránových stěn v provozu [4].

Pro ověření praskavosti se aplikují zkoušky svařitelnosti s vlastní tuhostí, a to zkouška praskavosti Tekken a zkouška RD.

Jednou z možností simulace namáhání svarového spoje, podobného jako u membránových stěn, je pevné upnutí trubky do rámu (obr. 1 a 2). U této zkoušky se jedná o simulaci opravy membránové stěny kotlů s nadkritickými vlastnostmi páry. Tato simulační zkouška nám zaručuje vysokou tuhost konstrukce (jako v případě membránových stěn) a neumožňuje tepelnou dilataci při svařování nově vložených částí trubek.

Obr. 3 – Trubky pro zkoušku praskavosti

Číslo vzorku	Metoda zkoušky svařitelnosti	Teplota předehřevu [°C]	Přídavný materiál	Tloušťka vzorku [mm]	Metoda svařování
TR1U	Simulační	20	Union I CrMoVTiB/T24	6	141
TR2U	Simulační	100	Union I CrMoVTiB/T24	6	141

Tab. 1 – Parametry svařování

Simulační zkouška svaru na trubce

U této metody bylo simulováno svařování podobné praktickému využití při opravě membránových stěn tepelných elektráren (viz. obr. 2). Úkolem zkoušky bylo ověření nutnosti použití předehřevu při výměnách trubek membránových stěn. Trubky o Ø 38 mm byly nařezány na délku 220 mm. Dále byla svarová plocha na soustruhu upravena do tvaru V s úhlem 60° a otupením 2 mm (obr. 3).

Pro experiment byl zhotoven rám (obr. 1), který simuloval opravu tuhé membránové stěny. Trubka byla před svařováním zkušebního spoje přivařena do rámu s mezerou v kořeni 2 mm.

Trubky byly nastehovány s mezerou v kořeni 2 mm a následně svařeny na dvě vrstvy, parametry svařování viz tab. 1. Mezi jednotlivými vrstvami byla kontrolována teplota interpass 100 °C. Způsob svařování upnuté trubky je patrný z obr. 4.

Svarový spoj na trubkách byl dělen na čtyři díly. Na dvou z nich byla provedena zkouška makrostruktury.

Obr. 1 – Rám pro svařování trubek

Obr. 2 – Vzorek přivařený v rámu

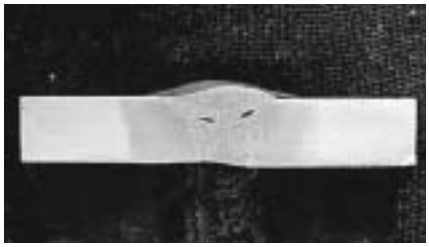
Obr. 4 – Svařování upnutých zkušebních svarových spojů trubek

Vyhodnocení simulační zkoušky

Zkoušky byly vyhodnocovány metalograficky na makrovýbrusech ve dvojnásobném zvětšení.

Simulační zkouška – TR1U – Union I CrMoVTiB/T24, 20 °C

Obr. 5 – TR1U, 1; 20 °C, 2×



Obr. 6 – TR1U, 2; 20 °C (oxidické vměstky), 2×

Simulační zkouška – TR2U – Union I CrMoVTiB/T24, 100°C

Obr. 7 – TR2U, 1; 100 °C, 2×

Obr. 8 – TR2U, 2; 100 °C, 2×

Vzorek TR1U

Tento vzorek byl při svařování upnut (přivařen do rámu) metodou WIG s přídavným materiálem Union I CrMoVTiB/T24 o průměru 2,4 mm a teplotou předehřevu 20 °C (bez předehřevu). Kontrolou makrostruktury svarového spoje byly zjištěny v mezihousenkové oblasti oxidické vměstky (obr. 6) [2,3]. Svarový spoj je vyhovující.

Vzorek TR2U

Tento vzorek byl při svařování upnut (přivařen do rámu) metodou WIG s přídavným materiálem Union I CrMoVTiB/T24 o průměru 2,4 mm a teplotou předehřevu 100 °C (obrázcích č. 7 a 8). Kontrola makrostruktury svarového spoje – bez vad. Svarový spoj je vyhovující.

Ocel	Označ. zkuš. spoje	Přídavný materiál	Předehřev	Tuhé upnutí desek	Vyhodnocení	Výsledek
T24	TR1U	CrMoVTiB/T24	ne (20 °C)	ano	bez trhlin	vyhovující
T24	TR2U	CrMoVTiB/T24	100 °C	ano	bez trhlin	vyhovující

Tab. 2 – Vyhodnocení simulační zkoušky z oceli T24 na trubkách

Závěr

Výsledky simulační zkoušky jsou shrnuty v tab. 2 a vykazují vyhovující výsledky. Zkouška potvrdila, že lze svařovat trubky o průměru 38 mm a tloušťky stěny 6 mm bez předehřevu, což má zásadní vliv na ekonomiku při opravách a výměnách membránových stěn tepelných elektráren. Tyto vzorky budou dále vystaveny dlouhodobé vysokoteplotní expozici, která bude simulovat provoz při teplotě 500 °C a 550 °C, kde budeme sledovat přítomnost sekundárního vytvrzování, která má nepříznivý vliv na hodnotu tvrdosti svarového spoje. Tvrdost svarového spoje je u těchto ocelí omezena max. hodnotou 350 HV (místně 380 HV).

LITERATURA:

[1] Kučera, J.: Nízkolegované žáropevné oceli: Teorie svařování. VŠB-TU Ostrava 1991. s. 261–263.

[2] Mohyla, P., Koukal, J.: Vliv makrostruktury na mechanické vlastnosti svarových spojů oceli T24. In Nové materiály technologie a zařízení pro svařování. Ostrava 19.–21. září 2005. VŠB-TU Ostrava, ČSÚ Ostrava. s. 175–180. ISBN 80-248-0898-6.

[3] Hlavatý, I.: Problematika svařitelnosti termomechanicky zpracovaných ocelí (Weldability of thermo-mechanically processed steels). TM vydavatelství, s.r.o., Svařování, dělení, spojování a materiálů, 2005, ročník III. (VII), číslo periodika 1/2005, s. 16–19. ISSN 1212-4044.

[4] Mohyla, P.: Vliv teploty popouštění na mechanické vlastnosti svarových spojů nízkolegovaných žáropevných ocelí. In Sborník přednášek 20. dny tepelného zpracování: 23. až 25. 11. 2004, Jihlava. ECOSOND s.r.o., s. 109–114. ISBN80-239-3561-5.

Ing. Jiří Hlavatý (IWE),
jiri.hlavaty@vsb.cz,
Ing. Lucie Krejčí (IWE),
Ing. Kateřina Pelikánová,
(všichni) VŠB – Technická univerzita Ostrava

Simulation membrane wall repair

The article deals with simulation of repair of membrane wall made of steel T24 which tends to be prone to thermal impact during welding. The main area of using steel T24 is the construction of membrane walls of boilers with above-critical parameters of steam (pressure of over 260 bar and temperature up to 600 °C). From the economic point of view it is requested that the membrane walls may be constructed without necessary application of pre-heating and if possible even without thermal processing. Theoretical knowledge indicates that welding steel T24 without subsequent tempering may not be possible.

Имитация ремонта мембранной стенки

Статья посвящена имитации ремонта мембранной стенки, изготовленной из стали T24, на которую влияют тепловые волны при сварке. Главной областью применения стали T24 является конструкция мембранных стенок котлов со сверхкритическими параметрами пара (давление свыше 260 бар, температура до 600 °C). С экономической точки зрения требуется, чтобы можно было конструировать мембранные стенки без необходимого применения подогрева и, если это возможно, без тепловой обработки. Теоретические познания, однако, показывают, что сварка стали T24 невозможна без последующей осадки.