

Šroubové spoje v příhradových ocelových konstrukcích z patinujících ocelí

Článek se zabývá možnostmi uplatnění patinující oceli při výstavbě příhradových ocelových konstrukcí. Pozornost je věnována především působení šroubových spojů nárožníků. V článku je představen projekt experimentálních stožárů z oceli Arcorox, na kterých jsou testovány různé varianty šroubových spojů.

Úvod

Ocelové příhradové stožáry se obvykle používají jako nosné konstrukce v energetických přenosových soustavách, viz obrázky 1 a 2. Tyto konstrukce představují nejrozsáhlejší realizaci patinujících ocelí v České republice. V letech 1974 – 1992 bylo postaveno přibližně 4000 stožárů vedení a 130 rozvodů napětí 110 kV, 220 kV a 400 kV. Stožáry byly vyrobeny z oceli 15 217 ATMOFIX A podle ČSN 41 5217.

Ocelové příhradové stožáry elektrického vedení jsou vyráběny v různých tvarových variantách, vždy ve tvaru čtyřbokých příhradových konstrukcí, vyztužených v jednotlivých stěnách diagonálami a příčkami z jednoduchých úhelníků. Nárožníky z úhelníků jsou po výšce stykovány pomocí šroubových spojů s příložkami, úhelníky ztužení jsou k nárožníkům připojeny pomocí jednoho šroubu. Pro použití patinujících ocelí byly uplatněny stejné detaily jako pro stožáry metalizované zinkem nebo chráněné nátěrem, pro provozní kontrolu a údržbu stožárů nebyly specifikovány žádné zvláštní požadavky.

Korozní chování patinujících ocelí na elektrovedoucích stožárech je systematicky hodnoceno od roku 1976. Obecně lze konstatovat, že na nosných prvcích stožárů dochází k příznivému vývoji ochranné patiny a to i na plochách odvrácených přímému působení povětrnosti, viz obrázek 3. K nepříznivému vývoji korozních produktů dochází v oblasti kotvení konstrukce do betonových základů a ve spojích nárožníků z úhelníků, které jsou navrženy jako šroubové spoje s příložkami.

Typické poruchy sloupů

Korozní oslabování nosných prvků v oblasti přechodu do betonového základu je typickou poruchou všech konstrukcí, nikoliv pouze stožárů navržených z patinujících ocelí. Jsou známy případy, kdy kritické oslabení konstrukce v oblasti přechodu do betonového základu (viz obrázek 4) bylo jednou z hlavních příčin havárie elektrovedoucích stožárů. Obvyklou příčinou poruchy je podcenění nebo zcela zanedbaná údržba, korozní působení je rovněž významně ovlivněno konstrukčním řešením detailu. V oblasti kotvení dochází k četnému zadržování vlhkosti a nečistot. Zvýšené ovlhčení vede ke vzniku vrstevnatých korozních produktů a k následnému intenzivnímu koroznímu oslabování konstrukce. Vhodné konstrukční řešení detailu je známo – betonový základ musí být dostatečně vyvýšen nad okolní terén, povrch základu musí být vyspádovaný směrem od ocelové konstrukce, ocelové prvky v oblasti kotvení musí být opatřeny vhodným nátěrovým systémem [1].

U šroubového spoje nárožníků dochází ve spáře mezi příložkami a spojovanými úhelníky ke vzniku šterbinové koroze, viz obrázek 5. Ve spáře



Obr. 1 – Stožár 110 kV v katastru obce Neznášov



Obr. 2 – Stožár 400 kV u Jindřichova Hradce

se prodlužuje doba ovlhčení povrchu, mohou se hromadit nečistoty, vznikají aerační a koncentrační rozdíly, což vše podporuje rozvoj korozního procesu. Ve spáře tak nenastávají podmínky potřebné pro vznik ochranné patiny. Nahromaděné korozní produkty deformují příložky ve spoji.

Při rozsáhlém experimentálním vyšetřování na konstrukčních celcích odebraných z havarovaných stožárů (stožáry byly v provozu přibližně 30 let) nebyl pozorován významný vliv šterbinové koroze na únosnost spoje nárožníků [1]. Na rozebraných spojích je dlouhodobě pozorováno, že tloušťka vrstvy rzi ve šterbině je největší po obvodu příložky, směrem ke šroubům se zmenšuje. K významnému

koroznímu oslabování šroubů nedochází. Navzdory výše uvedeným skutečnostem je potřeba konstatovat, že vznik výrazné šterbinové koroze ve šroubových spojích nárožníků je obecně nepřijatelný a tento nepříznivý jev je proto nutné při návrhu konstrukce eliminovat.

Obava z možných účinků nepříznivého korozního vývoje ve spojích nárožníků vedla energetické společnosti v České republice k opuštění konceptu uplatnění patinujících ocelí při výstavbě nových linek elektrického vedení. Tato obava i nadále přetrvává, a to navzdory skutečnosti, že domácí i zahraniční směrnice [1, 2] definují základní požadavky vhodného konstrukčního uspořádání kritického



Obr. 3 – Typický vzhled patiny na nárožních stožáru



Obr. 4 – Prokorodování nosných prvků v oblasti kotvení stožáru do základů



Obr. 5 – Štěrbínová koroze ve šroubovaném spoji nárožníků



Obr. 6 – Stožáry ARCOROX

detailu. Ekonomické a environmentální výhody plynoucí z použití patinujících ocelí tak nejsou při výstavbě nových přenosových soustav vůbec

využity. Experimentální ověření optimálního konstrukčního řešení spoje nárožníků je proto nezbytným předpokladem k tomu, aby mohly být patinující oceli opět uplatňovány při realizaci ocelových příhradových stožárů v nově připravovaných energetických přenosových soustavách.

Experimentální stožáry Arcorox

Projekt experimentálních stožárů Arcorox je připraven především z důvodu systematického testování různých variant šroubových spojů nárožníků. Za tímto účelem byly vyvinuty tři experimentální konstrukce, viz obrázek 5, na kterých bude dlouhodobě sledován vliv různých činitelů na korozní působení šroubových spojů nárožníků. Konstrukce stožárů se liší pouze ve spojích nárožníků. Konkrétně bude sledován vliv následujících činitelů:

a) Vliv roztečí a vzdáleností od konců a okrajů spoje

- Předpokládá se, že spoje s nejmenšími dovolenými roztečemi a vzdálenostmi od konců a okrajů budou méně náchylné ke vzniku štěrbinové koroze. U stožáru č. 1 jsou proto navrženy všechny příložky s menšími roztečemi a vzdálenostmi od konců a okrajů ve srovnání se stožáry č. 2 a 3.

b) Vliv tloušťky příložky

- Předpokládá se, že spoje s příložkami o větší tloušťce budou méně náchylné ke vzniku štěrbinové koroze. Na stožárech č. 1 a 2 jsou navrženy všechny příložky o nominální tloušťce $t = 10$ mm, na stožáru č. 3 jsou navrženy příložky o nominální tloušťce $t = 5$ mm.

c) Vliv předpětí šroubů

- Předpokládá se, že spoje s předepnutými šrouby budou méně náchylné ke vzniku štěrbinové koroze. Na každém stožáru je polovina spojů s předepnutými šrouby (černé šrouby M20, pevnostní třída 8.8, dřík šroubů opatřen teflonovou vazelinou M8062, utahovací moment 400 Nm).

d) Vliv úpravy styčných ploch příložek a nárožníku

- Předpokládá se, že spoje s upravenými styčnými plochami budou méně náchylné ke vzniku štěrbinové koroze. Testovány jsou čtyři druhy styčných ploch – styčná plocha příložek bez úpravy, styčná plocha příložek s nátěrem (nátěry FEST-B S2141 a Resistin Car), styčná plocha příložek se silikonovým tmelem (neutrální silikon OXIM) a styčná plocha příložek s vazelinou (teflonová vazelína M8062). Na každém stožáru jsou vždy dva styčníky příslušnou úpravou styčné plochy – jeden styčník bez předepnutých šroubů, druhý styčník s předepnutými šrouby.

Všechny stožáry mají obdélníkový půdorys 1200 x 1500 mm, výška stožárů je 2000 mm. Každý stožár má dvě svislé stěny a dvě šikmé stěny skloněné od svislé roviny pod úhlem 10°. Nárožníky jsou tvořeny z rovnoramenných úhelníků L120x10, diagonály jsou z rovnoramenných úhelníků L50x5. Použita je ocel S355J2W – ARCOROX. Všechny přípoje jsou řešeny jako šroubové, použity jsou černé šrouby pevnostní třídy 8.8. Na každém nárožníku jsou umístěny dva šroubové spoje s příložkami. Stožáry jsou umístěny v areálu ArcelorMittal Ostrava.

Povrch úhelníků a příložek byl ponechán ve stavu po válcování, včetně okují. Pouze příložky opatřené nátěrem byly odmoženy. Předpokládá se, že okuje v průběhu expozice odpadnou, popřípadě zůstanou pevně připojeny k povrchu prvku po celou dobu životnosti konstrukce. Tento předpoklad odpovídá zkušenostem s dlouhodobě exponovanými příhradovými stožáry z patinující oceli Atmosfix [1].

Montáž stožárů

Montáž všech stožárů probíhala dne 4. 10. 2012. Při montáži bylo sledováno, jak jednotlivé



Obr. 7 – Nanášení tmelu na příložky



Obr. 8 – Vytlačení tmel na hraně příložky



Obr. 9 – Nanášení teflonové vazelíny na příložky



úpravy kontaktní plochy přílozek ovlivňují průběh montáže. Pro možnost budoucího porovnání s výchozím stavem bylo v rámci montáže provedeno měření tloušťek přílozek a nárožníků.

Příložky s nátěrem

Nátěr kontaktních ploch přílozek byl proveden před samotnou montáží. Povrch přílozek byl odmořený. U všech stožárů byla polovina přílozek opatřena standardním syntetickým nátěrem (nátěr FEST-B S2141), druhá polovina pak nátěrem Resistin Car. V průběhu montáže docházelo k drobnému odírání obou nátěrů.

Příložky se silikonovým tmelem

Kontaktní plocha přílozek byla zatmelená jednosložkovým neutrálním silikonovým tmelem „neutrální silikon OXIM“. Způsob nanášení silikonového tmelu na kontaktní plochu příložky je

dokumentován na obrázku 7. Celá operace nanášení silikonového tmelu zabere maximálně 20 sekund, k významné časové prodlevě v montáži stožáru tak nedochází.

Po umístění příložky do konstrukce a následném dotažení šroubů došlo u nepředepnutých i předepnutých spojů k vytlačení tmelu za hrany příložky. Stav s neupraveným vytlačným tmelem je dokumentován na obrázku 8.

U většiny přílozek bylo provedeno následné zahlazení tmelu podél hrany příložky. Silikonový tmel vytlačný k hranám příložky je potřebné zahladit ihned po montáži příložky, dokud nedojde k jeho zatvrdnutí. V místech, ve kterých nebylo vytlačeno dostatečné množství tmelu, bylo potřebné množství tmelu doplněno z vytlačovací pistole.

Příložky s teflonovou vazelínou

Použitá vazelína M8062 je speciální teflonové

tlakově odolné mazivo a ochrana povrchu s dlouhou životností. Výrobce deklaruje odolnost v rozmezí teplot -25°C až 160°C . Ke kovům je vazelína neutrální. Vazelína je odolná proti vodě, vlhkosti a kyselému prostředí. Vazelína má rovněž působit jako antikorozi ochrana.

Na příložky byla vazelína nanášena nástřikem, viz obrázek 9. Celá operace je velice jednoduchá, doba nástřiku na jednu příložku je přibližně 10 s, při montáži stožáru tak nedochází k významné časové prodlevě způsobené aplikací vazelíny. Po umístění příložky do konstrukce a následném dotažení šroubů dochází pouze k minimálnímu vytlačování vazelíny podél hrany příložky.

Závěr

V průběhu experimentu, který je koncipován jako dlouhodobý, bude vyhodnocována účinnost jednotlivých konstrukčních opatření. Na základě zjištěných výsledků bude doporučeno optimální řešení šroubového spoje nárožníků příhradových stožárů. Lze očekávat, že optimální řešení spoje bude vyžadovat kombinaci několika opatření, jakými jsou dostatečná tloušťka přílozek, předepnutí šroubů, vhodně zvolené rozteče a vzdálenosti ke koncům a okrajům, ochrana styčné plochy přílozek nátěrovým systémem a aplikace tmelu. Při montáži experimentálních konstrukcí se jako velmi nadějně opatření jevila aplikace silikonového tmelu – celá operace nanášení silikonového tmelu na příložku trvá maximálně 20 sekund, tmel je levný, po umístění příložky do konstrukce a následném dotažení šroubů došlo u nepředepnutých i předepnutých spojů k vytlačení tmelu za hrany příložky, tmel lze po obvodu příložky snadno zahladit.

Poděkování: Příspěvek byl vypracován za finanční podpory Grantové agentury České republiky, projekt č. 13-16124P.

LITERATURA:

- [1] Křivý, V., Kreislová, K., Rozlívka, L., Knotková, D.: Směnice pro používání oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi (směnice České asociace ocelových konstrukcí). Praha: SVUOM Praha, 2011. ISBN 978-80-87444-05-4
- [2] Fischer, M.: Merkblatt 434: Wetterfester Baustahl. Stahl-Informationen-Zentrum. 39 p., 2004.

Ing. Vít Křivý, Ph.D.,
VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.,
ArcelorMittal Ostrava, a.s.

Screw joints in truss patina steel structures

The article examines the options of using patina steel for the construction of truss steel structures. Attention is focused on the action of screw joints of quion stones. The article presents a project of experimental masts made of Arcorox steel on which various variants of screw joints are tested.

Винтовые соединения в решетчатых стальных конструкциях из окисляющейся (нелегированной) стали

В статье рассматривается возможность использования нелегированной стали при возведении решетчатых стальных конструкций. Особое внимание уделяется влиянию винтовых соединений угольников. В статье представлен проект экспериментальных опор из стали Arcorox, на которых тестируются различные варианты винтовых соединений.