

Korozivzdorné oceli v nosných konstrukcích



doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.
Vystudoval Fakultu stavební ČVUT v Praze. Je docentem na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze. Člen pracovních skupin CEN pro normy EN 1993-1-3 a EN 1993-1-4.
E-mail: michal.jandera@fsv.cvut.cz

Korozivzdorné (nerezové) oceli v konstrukcích dosahují obecně vysoké životnosti s výrazně nižšími náklady na údržbu. Při navrhování je však nutné zohlednit odlišné chování těchto ocelí. To vedlo k vytvoření doplňujících pravidel v samostatné části evropské normy pro ocelové konstrukce EN 1993-1-4, které se liší zejména u návrhu tláčených průřezů a prutů. Norma uvádí rovněž jednoduchá pravidla pro výběr oceli s ohledem na korozní prostředí.

Nerezové oceli, v technické literatuře nazývané častěji jako korozivzdorné oceli, jsou spjaté spíše s kuchyňským vybavením než s prvky konstrukcí. Nicméně v agresivním korozním prostředí či konstrukcích s vysokými nároky na dlouhou životnost a minimalizaci údržby může být i přes vyšší cenu materiálu použití korozivzdorné oceli výhodné. Statistika [1] uvádějí, že pro stavebnictví se využívá okolo 14 % světové produkce těchto ocelí, přičemž tento podíl je vyšší v ekonomicky vyspělých zemích, zejména pak v těch s větší pobřežní oblastí.

Hlavní odlišností korozivzdorné oceli oproti běžně používaným ocelím uhlíkovým je přítomnost velmi tenké (do 0,005 μm), ale kompaktní povrchové pasivní vrstvy oxidu chromitého. Tato vrstva se v případě poškození za přítomnosti kyslíku sama obnovuje. Korozivzdorné oceli jsou charakterizovány obsahem chromu alespoň 10,5 %. Mezi další legury patří často molybden a další (titan, niob, dusík). Ve skutečnosti korozivzdorné oceli představují velké množství tříd ocelí s velmi rozdílnou pevností a korozní odolností.

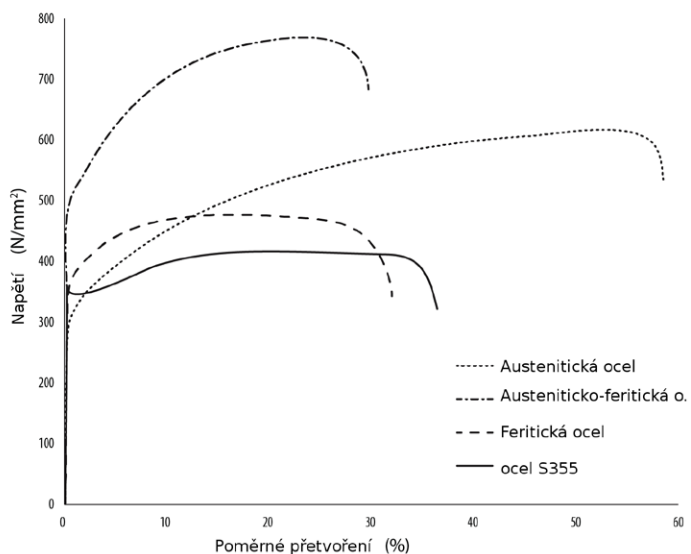
Použití ve stavebnictví

Ve stavebnictví jsou nejběžněji používanými třídami oceli austenitické, které mají austenitickou strukturu, dobrou korozní odolnost, jsou velmi houževnaté, nemagnetické (s výjimkou oblastí tvarovaných za studena) a velmi dobře svařitelné. Oceli austeniticko-feritické (rovněž označované jako duplexní) mají smíšenou austenitickou a feritickou strukturu, vyšší obsah chromu a menší obsah niklu. Tyto oceli jsou navrhovány zejména pro jejich vyšší pevnost, případně vyšší korozní

odolnost. Dále se ve stavebnictví používají oceli feritické, které mají feritickou strukturu, jsou méně odolné korozi, ale jejich cena je nižší. Uplatňují se například u tenkostěnných profilů tvarovaných za studena jako alternativa k běžným pozinkovaným ocelovým plechům. Porovnání typických pracovních diagramů korozivzdorných ocelí je na obr. 1.

Ve stavebních konstrukcích je důvodem pro návrh korozivzdorné oceli zpravidla atraktivní metalický povrch a vysoká korozní odolnost, která při správné volbě třídy oceli vede k dlouhé životnosti konstrukce v řadě průmyslových prostředích, úpravnách vod či bazénových halách. Často se korozivzdorné oceli navrhují i kvůli vysoké oteřivzdornosti či absorpci velkého množství energie při nárazu nebo při vysokých nározech na hygienu prostředí v potravinářském průmyslu či výrobě léčiv. V ČR je dobře známa prostorová příhradová konstrukce oranžerie Pražského hradu z konce devadesátých let (obr. 2), navržená ateliérem architektky Evy Jiříčkové. Pro tuto konstrukci byla použita základní austenitická ocel 1.4301.

Pro konstrukce, kde je výhodná vyšší pevnost materiálu a kde se využívá k výrobě průřezů svařováním z plechů (např. mostní konstrukce), jsou často používány austeniticko-feritické (duplexní) oceli, běžně třídy 1.4462. Prvním mostem s hlavní nosnou konstrukcí z korozivzdorné oceli je silniční most Cala Galdana s ocelovým obloukem o rozpětí 45 m a výšce 6 m na ostrově Menorca. Most byl uveden do provozu roku 2005 a byl v Evropě i Asii následován dalšími realizacemi lávek a mostů. Spolu s třídou 1.4462 se v současnosti využívá novějších nízkolegovaných austeniticko-feritických (lean-duplex) ocelí, zejména 1.4162 (např. zavěšená lávka v Sieně z roku 2006). Ze současných projektů je na obr. 3 ukázána výroba a montáž při rekonstrukci železničního mostu ve Stockholmu o délce 174 m. Nosník s výškou 1 m z korozivzdorné oceli 1.4662 (mírně nižší obsah niklu a molybdenu než u oceli 1.4462) nahradí stávající nosník z běžné uhlíkové oceli právě díky nižším nárokům na údržbu. Konstrukce (600 t oceli) bude dokončena v roce 2018. Z probíhajících realizací je možné ještě *na okraj* zmínit výrobu první



▲ Obr.1 Pracovní diagram korozivzdorných ocelí a běžné uhlíkové oceli



▲ Obr. 2 Oranžerie Pražského hradu (ocel 1.4301)



▲ Obr. 3 Ocelový nosník železničního mostu ve Stockholmu během výroby – vlevo a při montáži – vpravo (foto: Lars Hamrebjörk)

lávky kompletně vytvořené z korozivzdorné oceli technologií 3D tisku. Dvanáctimetrová lávka futuristického tvaru bude letos uvedena do provozu v Amsterdamu.

Při návrhu může být omezením menší sortiment běžně vyráběných profilů. Typické jsou zejména uzavřené kruhové a čtverhranné profily. Projektanty ocelových konstrukcí často používají otevřené válcované profily (I, H, U, L apod.) nejsou u korozivzdorných ocelí zdaleka tak běžné, i když jistou alternativou mohou být průřezy svařované laserem. Obr. 4 ukazuje kopulovou konstrukci střechy polské továrny na výrobu průmyslových hnojiv v průběhu výstavby. Konstrukce (95 t) je ze 144 zakřivených nosníků (rozpon 15 m) tvořených laserem svařovanými profily IPE 270 z oceli 1.4404. V konstrukci jsou použity i laserem svařované U profily a za tepla válcované úhelníky.

Návrhové postupy a normy

K používání korozivzdorných ocelí v Evropě jistě přispělo i zavedení návrhových evropských norem. První předběžná evropská norma ENV 1993-1-4 byla publikována již v roce 1996 (v ČR pak v roce 1998 [2]) a pro projektanty znamenala seznámení se s hlavními odlišnostmi chování korozivzdorných ocelí a podporu pro návrh prvků nosných konstrukcí. Jedná se o poměrně stručnou normu doplňující pravidla pro návrh běžných ocelových konstrukcí podle skupiny norem EN 1993 s ohledem na nejdůležitější odlišnosti korozivzdorných ocelí (zakřivený pracovní diagram materiálu, viz obr. 5, a specifická pravidla s ohledem na trvanlivost). V roce 2006 pak norma vyšla rozšířená jako EN 1993-1-4, v českém překladu jako ČSN EN 1993-1-4 o dva roky později [3]. V roce 2015 se norma dočkala Změny A1, které se věnuje i text níže. Významnější úpravy se očekávají spolu s dalšími částmi norem pro ocelové konstrukce po roce 2020. Řada z nich byla zapracována do Příručky pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli [4] připravované již od roku 1993 a nyní ve svém čtvrtém vydání v roce 2017 přeložené rovněž do češtiny (obr. 6). Jedná se například o zpřesnění křivek vzpěrnosti a interakce tlaku s ohybem, zavedení postupů pro stanovení zvýšené pevnosti za studena tvářených profilů a zcela nové metody návrhu Continuous Strength Method. Český překlad příručky byl představen veřejnosti v rámci odborného semináře 27. září 2017 na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Publikace je spolu s dalšími výstupy projektu PUREST dostupná na webu <http://www.steel-stainless.org/designmanual>.

Pro projektanty nosných konstrukcí je klíčové stanovení únosnosti konstrukčních prvků. Postupy výpočtu únosnosti jsou však v principu totožné s postupy pro běžné ocelové konstrukce a liší se spíše jen v jejich parametrech. Nelinearita pracovního diagramu ovlivňuje zejména stanovení únosnosti tlačných průřezů a prutů. Vliv zakřiveného pracovního diagramu se projevuje i u stanovení průhybů či při výpočtu vnitřních sil. Zmiňovaná změna normy navíc vedla k přiblížení se postupům pro běžné uhlíkové oceli,



▲ Obr. 4. Laserem svařované průřezy použité pro konstrukci střechy továrny na výrobu hnojiv v Polsku (foto: Montanstahl)

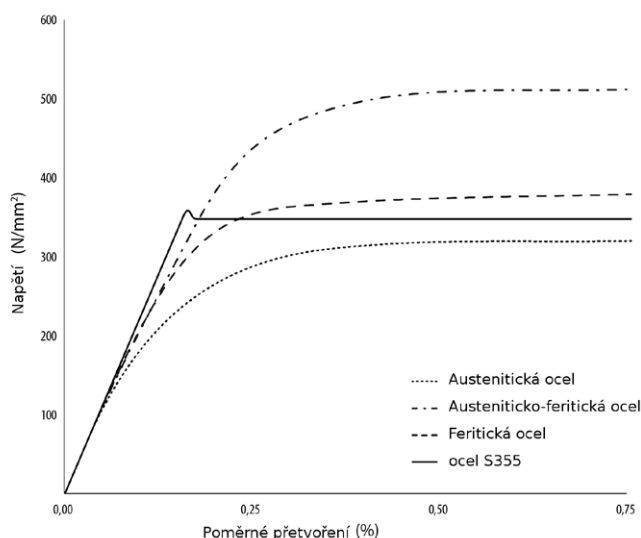
konkrétně u postupů pro klasifikaci průřezů a stanovení průřezové únosnosti.

Dalším důvodem pro změnu normy bylo zahrnutí nově vyvinutých tříd ocelí. Jako oceli vhodné pro konstrukce a splňující základní požadavky pevnosti, tažnosti, houževnatosti či svařitelnosti byly nově (po cca deseti letech platnosti původní normy) zařazeny austeniticko-feritické třídy: 1.4482, 1.4162, 1.4062 a 1.4662, které doplnily stávající třídy 1.4362 a 1.4462. Zároveň změna upravila pevnostní charakteristiky za studena zpracovaných austenitických ocelí (třídy CP350 a CP500), tj. ocelí, kde je mechanické tvárění využito pro zvýšení pevnosti materiálu.

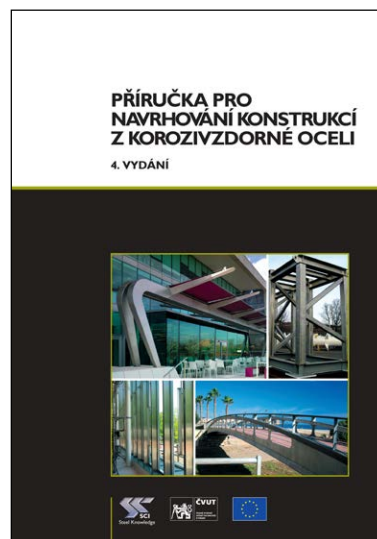
Třída korozní odolnosti CRC

I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4578		

▲ Tab. 1. Třída korozní odolnosti podle EN 1993-1-4:2006/A1:2015, Příloha A.



▲ Obr. 5 Pracovní diagram korozivzdorných ocelí a běžné uhlíkové oceli od 0 do 0.75 % přetvoření



▲ Obr. 6 Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli

Výběr materiálu

S ohledem na malé odlišnosti v návrhu korozivzdorných ocelí je pro projektanty ocelových konstrukcí postup posouzení poměrně jednoduchý. Větším problémem může být správný výběr vhodné třídy oceli vzhledem ke koroznímu prostředí. Pro projektanta bez zkušenosti s návrhem korozivzdorné oceli je výběr z široké nabídky tříd a bez znalosti dostupnosti a ceny materiálu v místě poměrně komplikovaný. Vzhledem k tomu byla změnou normy zcela přepracována metodika pro výběr materiálu s ohledem na korozní prostředí obsažená v samostatné Příloze A normy. Tento postup se omezuje na poměrně běžná prostředí s nutností uvážit např. správnou volbu detailů (štrbinová či bimetalická koroze). Nicméně postup umožňuje projektantovi v řadě případů výběr oceli i bez nutnosti konzultace s korozním specialistou. Oceli jsou zde seřazeny do pěti tříd korozní odolnosti (CRC – Corrosion Resistance Class), přičemž nejnižší třída odpovídá nejnižší korozní odolnosti. Tyto třídy se použijí pro běžné konstrukce, pro navrhování bazénových hal jsou uvedena doplňující pravidla. Tab. 1 uvádí třídy materiálu s vhodnou korozní odolností pro dané provozní prostředí. Výběr konkrétní třídy materiálu je závislý mimo korozní odolnosti i na dalších faktorech, jako je např. pevnost materiálu a dostupnost výrobků požadovaného tvaru. Specifikace materiálu pomocí CRC a návrhové pevnosti, např. CRC II a $f_y = 450 \text{ N/mm}^2$, se považuje za dostatečnou pro doporučení konkrétní třídy materiálu pro dodavatele.

Třída korozní odolnosti je minimálním požadavkem a je porovnávána se součinitelem korozní odolnosti CRF (Corrosion Resistance Factor) pro dané prostředí. Tento je závislý na parametrech vnějšího prostředí, jemuž je konstrukce nebo její část vystavena. Je to:

- riziko vystavení chloridům ze slané vody nebo rozmrazovacím solím;
- riziko vystavení oxidu siřičitému;
- režim čištění nebo vystavení oplachu deštěm.

Postup nezohledňuje požadavky na povrchovou úpravu, např. s ohledem na architektonické či hygienické důvody, ani způsoby spojování. Povrchová úprava může mít na trvanlivost významný vliv. Pokud je tedy pohledová kvalita pro daný dílec důležitá, lze vhodnou povrchovou úpravu specifikovat podle norem EN 10088-4 nebo EN 10088-5. Postup je určen jen pro prostředí na území Evropy a nemá být použit pro regiony mimo něj. ■

Poděkování

Tento článek i zmiňovaný překlad Příručky pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli byl z části podpořen projektem PUREST – Promotion of New Eurocode Rules for Structural Stainless Steels Výzkumného fondu pro uhlí a ocel Evropské komise.

Zdroje:

- [1] BADDIO, R., N. Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities. Journal of Constructional Steel Research, ročník 64, č. 11, 2008: s. 1199–1206.
- [2] ČSN P ENV 1993-1-4: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla – Doplňující pravidla pro korozivzdorné oceli. ČNI, 1998.
- [3] ČSN EN 1993-1-4: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla – Doplňující pravidla pro korozivzdorné oceli. ČNI, 2008.
- [4] SCI: Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli. Přel.: Jandera, M., B. Židlický a M. Šorf, ČVUT v Praze, 2017.

english synopsis

Stainless Steels in Structural Application

Stainless steels in structural applications exhibits generally very good durability and significantly lower maintenance cost than common carbon steels. However, structural design has to consider the different behaviour of stainless steel material. This led to development of supplementary rules in a separate part of the Eurocode concerning stainless steel structures EN 1993-1-4, which differs mainly in design of compressed sections and members. The design code gives also simple rules for a grade selection providing appropriate corrosion resistance for the given environment.

klíčová slova:

korozivzdorná ocel, nerez, konstrukce, Eurokód

keywords:

stainless steel, construction, Eurocode

odborné posouzení článku:

prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze