

Korozivzdorné oceli ve styku s jinými kovovými materiály



Euro Inox

Euro Inox je evropskou asociací pro rozvoj trhu korozivzdorných ocelí.

Členy Euro Inox jsou:

- evropských výrobců korozivzdorných ocelí
- národní asociace pro vývoj korozivzdorných ocelí
- asociace pro rozvoj odvětví výroby legujících prvků.

Prvořadými cíli organizace Euro Inox je vytvářet povědomí o jedinečných vlastnostech korozivzdorných ocelí a podporovat jejich používání jak u stávajících aplikací, tak i na nových trzích. K dosažení těchto cílů pořádá Euro Inox konference a semináře a vydává návody v tištěné i elektronické podobě, které umožňují architektům, projektantům, materiálovým odborníkům, výrobcům a koncovým uživatelům lépe se seznámit s těmito materiály. Euro Inox rovněž podporuje technický výzkum a průzkum trhu.

ISBN 978-2-87997-324-1

978-2-87997-263-3	Anglické vydání
978-2-87997-322-7	Holandské vydání
978-2-87997-323-4	Francouzské vydání
978-2-87997-325-8	Finské vydání
978-2-87997-326-5	Švédské vydání
978-2-87997-327-2	Turecké vydání
978-2-87997-328-9	Polské vydání
978-2-87997-329-6	Italské vydání
978-2-87997-330-2	Španělské vydání

Řádní členové

Acerinox

www.acerinox.com

Aperam

www.aperam.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.com

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Přidružení členové

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMO)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

Korozivzdorné oceli ve styku s jinými kovovými materiály

Publikační řada Materiály a aplikace, svazek 10

© Euro Inox 2011

Přeloženo a upraveno z publikace ARLT, N. / BURKERT, A. / ISECKE, B., *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen (Merkblatt 829)*, Düsseldorf, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4. vyd. 2005

Vydavatel:

Euro Inox

Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80,

1030 Brusel, Belgie

Tel. +32 2 706 82 67, Fax +32 2 706 82 69

Fotografie poskytli:

Atomium asbl / vzw, Brusel (B)

Centro Inox, Milano (I)

Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung, Berlín (D)

David Cochrane, Sidcup (UK)

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Outokumpu, Tornio (FIN)

Thomas Pauly, Brusel (B)

Christoph Seeberger, Mnichov (D)

ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld (D)

Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden (D)

Viega GmbH & Co. KG, Attendorn (D)

Odmítnutí právní odpovědnosti

Euro Inox se maximálně vynosnažila o zajištění technické správnosti informací uváděných v této publikaci. Čtenáře však upozorňuje, že zde obsažený materiál slouží pouze jako všeobecná informace. Organizace Euro Inox, jakož i její členové, pracovníci a konzultanti výslovně odmítají jakékoliv závazky a jakoukoliv odpovědnost za případné ztráty, škody nebo újmy vzniklé použitím informací obsažených v této publikaci.

Obsah

1	Úvod	2
2	Principy galvanické koroze	3
3	Ovlivňující faktory a příklady jejich uplatnění	5
3.1	Opor elektrolytu	5
3.2	Doba ovlhčení a vliv prostředí	6
3.3	Kinetika elektrodových reakcí	8
3.4	Plochy povrchů katody a anody	8
4	Praktické poznatky pro různé aplikace	10
4.1	Úpravny vod a čistírny odpadních vod	11
4.2	Součásti vystavené atmosférické korozi	14
4.3	Korozivzdorné oceli ve stavebnictví	15
4.4	Korozivzdorné oceli na vozidlech	18
5	Prevence galvanické koroze	22
6	Literatura	23

Autorská práva

Na toto dílo se vztahují autorská práva. Euro Inox si vyhrazuje všechna práva na překlady do kteréhokoliv jazyka, přetisky, opětivé použití vyobrazení, zopakovávání uváděných skutečností a vysílání. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována, uložena ve vyhledávacím systému nebo předávána a šířena jakoukoli formou a jakýmkoli prostředky, ať elektronicky, mechanicky, pořízováním fotokopií, nahráváním či jinak, bez předchozího písemného svolení majitele autorských práv, kterým je Euro Inox, Lucemburk. Jejich porušení může být předmětem soudního řízení a zakládat zodpovědnost za finanční škody vzniklé každým jednotlivým porušením a povinnost úhrady nákladů a soudních poplatků, a může být stíháno podle lucemburského zákona o autorském právu a podle předpisů Evropské unie.

1 Úvod

Náročné konstrukční požadavky někdy vyžadují použití kombinací různých kovových materiálů na jedné a téže součásti zařízení. Často se setkáváme i s náhodnými kombinacemi, kdy se prostě např. na šrouby, spony, podložky aj. použil ten materiál, který byl zrovna k dispozici. Za jistých okolností mohou konstrukční řešení využívající takto pospojovaných materiálů vyvolávat korozi některého z nich. Uplatňuje se zde jev zvaný galvanická koroze¹, kdy dva různé kovy vytvoří elektrochemický článek.

Vytvoření galvanického článku může urychlit korozi méně ušlechtilého materiálu. Ten pak může korodovat mnohem rychleji než kdyby nebyl ve styku s tím druhým, ušlechtlejším materiálem. Ať už vlivem koroze dojde k nepříjemnému narušení vzhledu součásti nebo k proděravění trubky či prasknutí šroubu, může to drasticky zkrátit životnost součásti, kterou je nutno předčasně vyměnit. U většiny technických aplikací má korozi odolná ocel kladnější korozní poten-

ciál než druhý kov, se kterým je ve styku; zrychlená koroze tedy obvykle ohrožuje onen druhý kov.

Ovšem riziko koroze vyvolané působením galvanického článku závisí na celé řadě činitelů. Vedle použitých materiálů sehrává klíčovou úlohu okolní prostředí a konstrukční řešení. Proto je nesnadné bez dalšího zkoumání rozhodnout, zda se dva odlišné materiály budou snášet. Tato publikace popisuje principy galvanické koroze a hlavní parametry, které konstruktérům umožňují odhadnout závažnost rizika vzniku koroze.

¹Urychlená koroze daného kovu vyvolaná působením korozního článku. Uplatnit se mohou i jiné faktory jako koncentrační články, diferenční aerace a články vzniklé na rozhraní kovu v aktivním a kovu v pasivním stavu.

2 Principy galvanické koroze

Ke korozi působením galvanického článku může dojít, pokud:

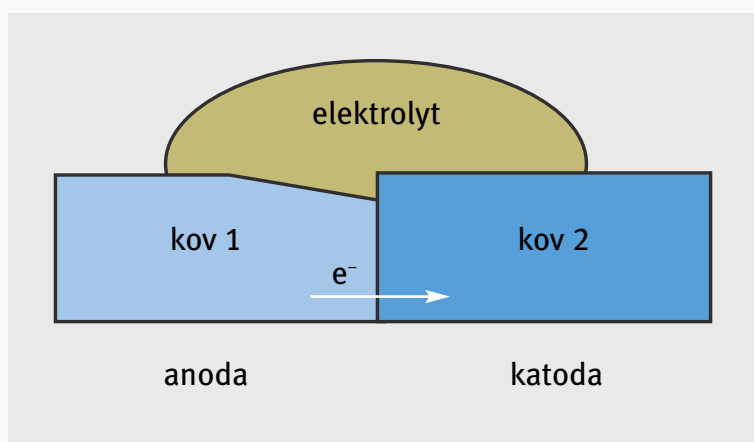
- různé kovy daného systému mají různé korozní potenciály;
- mezi dvěma kovy existuje vodivé spojení;
- oba kovy propojuje elektricky vodivá vlhká vrstva (elektrolyt).

Obrázek 1 uvádí grafické znázornění těchto tří případů.

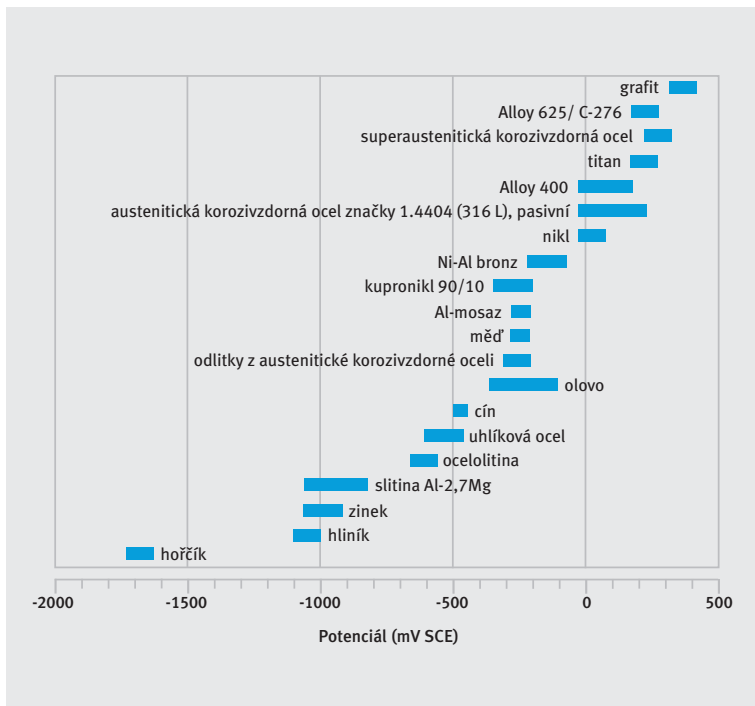
Při korozi působením galvanického článku je méně ušlechtilý materiál – anoda – přednostně napadán, kdežto ušlechtilejší materiál – katoda – je dokonce proti korozi chráněn. Vlastně i katodická ochrana vychází z principu obětovaných anod, které druhému kovu zajišťují ochranu proti korozi.

Styk dvou kovů o různém potenciálu vyvolá v elektricky vodivém prostředí tok elektronů od anody ke katodě. Dochází ke stejným elektrochemickým reakcím, jaké přirozeně probíhají u osamocené kovu, avšak korozní napadení anody je velice

urychleno. V některých případech může tvorbou galvanických článků docházet i ke korozi materiálů, které by jinak korozi v daném prostředí odolávaly. Stát se to může například u pasivovaných materiálů jako je hliník, a to místní polarizací v určitých prostředích. V takových případech můžeme pozorovat projevy místní (lokalizované) koroze jako je štěrbinová koroze nebo bodová či důlková koroze (pitting), ke které by bez posunu potenciálu vyvolaného tvorbou galvanického článku nedošlo.



Obrázek 1:
Podmínky podmiňující
korozi rozdílných kovů

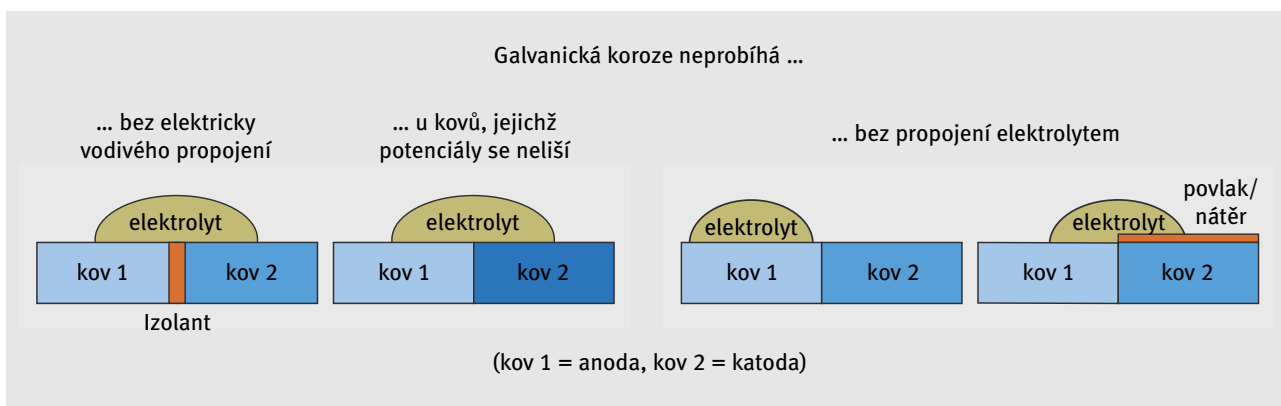


Obrázek 2:
Elektrochemická řada potenciálů
v mořské vodě při 10 °C

Navzdory značně rozšířenému mínění není potenciálový rozdíl elektrochemického článku sám o sobě dobrým indikátorem skutečného rizika vzniku koroze vlivem galvanického článku. Naznačuje pouze, zda je vůbec toto riziko třeba brát v úvahu. V této souvislosti je třeba připomenout, že četné tabulky standardních potenciálů jednotlivých kovů, které nalezneme v literatuře, uvádějí jen přibližné potenciálové rozdíly. Rozhodující není potenciálový rozdíl pozorovaný za normalizovaných experimentálních podmínek, nýbrž skutečný potenciálový rozdíl ustavený za skutečných provozních podmínek. Proto byly pro typická prostředí jako je mořská voda sestaveny empirické tabulky tzv. řad elektrodových potenciálů. Podle nich je možno jednotlivé kovy zařazovat v daném prostředí (obr. 2).

Víme-li, za jakých podmínek může ke korozi působením galvanického článku docházet, a porozumíme-li správně příkladům uvedeným na obr. 3, můžeme rozhodnout, jaká preventivní opatření uplatnit; o těch pojednává kapitola 5.

Obrázek 3:
Podmínky, za kterých ke korozi
působením galvanického článku
dojít nemůže



3 Ovlivňující faktory a příklady jejich uplatnění

Podle Faradayova zákona probíhají elektrochemické korozní procesy úměrně přenosu náboje, tj. intenzitě procházejícího proudu. Proto jsou to právě proudy nebo proudové hustoty, kterých se často užívá k měření koroze. Jsou-li v zásadě splněny podmínky, za kterých koroze působením galvanického článku může probíhat, skládá se celkový korozní proud I_{tot} z parciálního proudu samovolné koroze I_s (tj. té části koroze, která probíhá nezávisle na kontaktech s jinými materiály) a z parciálního proudu galvanického článku I_{el} (tj. té části koroze, která je vyvolávána průchodem proudu mezi stýkajícími se materiály (rovnice 1).

$$I_{tot} = I_s + I_{el} \quad (\text{rovnice 1})$$

Intenzita koroze probíhající v důsledku činnosti galvanického článku je dána rozdílem potenciálů obou zúčastněných kovů (ΔU), odporem elektrolytu (R_{el}) a polarizačním odporem anody ($R_{p,a}$) a katody ($R_{p,c}$) (rovnice 2).

$$I_{el} = \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{rovnice 2})$$

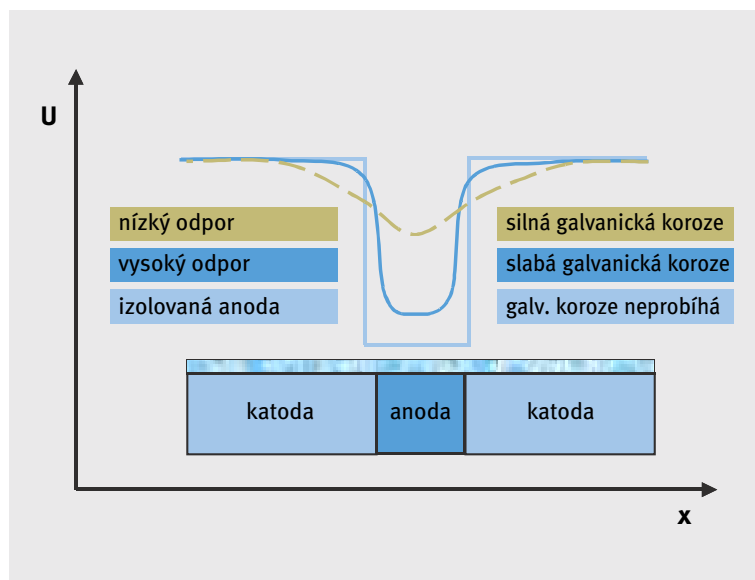
Z této rovnice je možno usuzovat na faktory, které spoluurčují průběh galvanické koroze. Jsou to faktory, které mají kritický význam při určování, zda koroze daného kovu bude či nebude představovat technicky závažný problém. Proto bude o vlivech těchto faktorů pojednáno odděleně pro každý z nich.

3.1 Odpor elektrolytu

Riziko galvanické koroze klesá s rostoucím odporem elektrolytu. Důvodem je, že se

dosah proudu galvanického článku snižuje a potenciál anody se méně posouvá, jak ukazuje obr. 4.

Pro případ izolované anody měření potenciálu na povrchu určuje potenciál katody a potenciál anody nezávisle na sobě. V přechodové oblasti pozorujeme znatelný potenciálový skok. Existuje-li mezi katodou a anodou elektricky vodivé spojení, anoda se v elektrolytech s vysokým odporem (jako jsou povrchové vrstvičky vody vytvořené



Obrázek 4:
Vliv odporu elektrolytu
na anodickou polarizaci

kondenzací) slabě polarizuje ve směru ke kladným potenciálům. Pod vrstvami elektrolytu s nízkým odporem (ve slané vodě) se naměří velmi vysoká polarizace. Čím je polarizace vyšší, tím větší rychlostí koroduje anoda, nachází-li se její materiál v aktivním stavu, nebo tím vyšší je pravděpodobnost, že anoda dosáhne kritického potenciálu (při kterém se rozbíhá koroze), je-li její materiál v pasivním stavu. Tabulka 1 uvádí specifické hodnoty vodivosti různých druhů vody.

3.2 Doba ovlhčení a vliv prostředí

Mezi odporem elektrolytu a dobou ovlhčení existuje silné vzájemné spolupůsobení. To má kritický význam všude tam, kde součásti nejsou ve vodných kapalinách ponořeny trvale. Jak již bylo vysvětleno v kapitole o podmínkách, za kterých galvanická koroze probíhá, sehrává klíčovou úlohu vrstva elektrolytu. Bez ní k tomuto typu koroze dočkat nemůže. Z toho pro praxi plyne, že zkombinováním libovolných různých kovových materiálů žádný korozní problém nevznikne, není-li přítomna vrstva elektrolytu. Takovým typickým případem jsou interiéry, kde nedochází ke kondenzaci. U osvětlovacích těles nebo vnitřního vybavení místností lze použít prakticky bez omezení jakékoliv kombinace materiálů, protože v běžně větraných a vytá-

pěných prostorách zde riziko koroze nevzniká (obr. 5).

Doba vystavení materiálů danému prostředí i odpor elektrolytu velice závisí na místních podmínkách. V přímořském či průmyslovém ovzduší nebo v prostorách plováren je pravděpodobnost vzniku koroze působením galvanického článku podstatně vyšší než ve venkovském ovzduší. Obrázek 6 ukazuje vliv prostředí na korozní rychlosti samotného zinku a zinku ve styku s korozivzdornou ocelí. Ukazuje, že podíl koroze působením makročlánku (daný rozdílem korozních rychlostí) při expozici v přímořském ovzduší a v prostředí zasahovaném rozstříkem mořské vody je vyšší než podíl koroze osamoceneného kovu (daný korozní rychlostí zinku, který není ve styku s korozivzdornou ocelí).

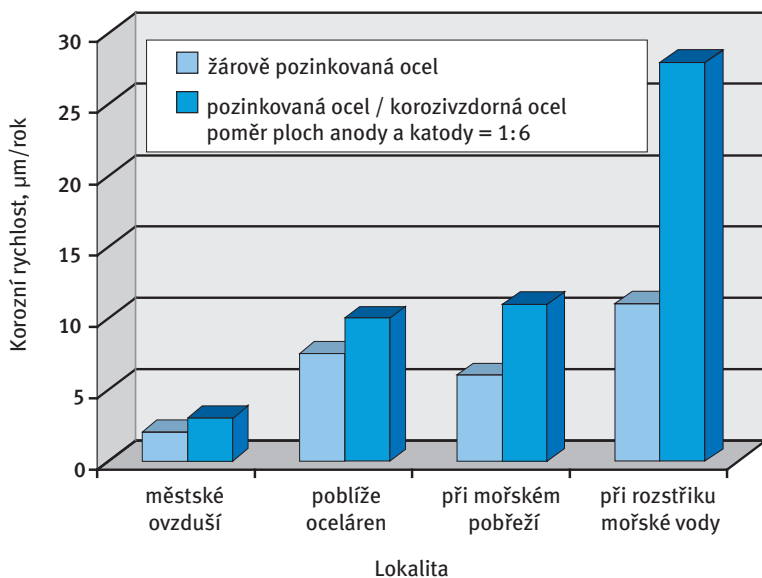
Tabulka 1:
Typické hodnoty
specifické vodivosti
v různých druzích vody

Prostředí	Specifická vodivost ($\Omega \cdot \text{cm}$) ⁻¹
čistá voda	$5 \cdot 10^{-8}$
demineralizovaná voda	$2 \cdot 10^{-6}$
dešťová voda	$5 \cdot 10^{-5}$
pitná voda	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
brakická říční voda	$5 \cdot 10^{-3}$
mořská voda	$3,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$

Vedle prostředí tj. ovzduší v daném místě hrají rozhodující úlohu detaily konstrukčního řešení. Faktory napomáhající rychlému vysušování vrstev vlhkosti (dostatečné provzdušnění, konstrukce bez štěrbin, volný odtok dešťové vody) korozní napadení omezují. Galvanická koroze může být značně urychlena v místech neustále ovlhčených, ve štěrbinách nebo pod zakrytím, ve stojaté vodě a na znečištěném povrchu.



Obrázek 5:
V normálně vytápěných a větraných zastřešených prostorách se elektrolyty běžně nevyskytují, takže pro spojení korozivzdorné oceli s jinými kovovými materiály jako s uhlíkovou ocelí opatřenou nátěrem zde riziko galvanické koroze není typické.



Obrázek 6:
Korozní rychlosti žárově pozinkované oceli spojené a nespojené s korozivzdornou ocelí v různých prostředích

3.3 Kinetika elektrodoových reakcí

Kinetiku elektrodoových reakcí vyjadřuje *rovnice 3* hodnotami polarizačního odporu anody a katody. I velmi malé potenciálové rozdíly, např. 100 mV, mohou vyvolat korozi, zatímco kovy vykazující mnohem větší rozdíly potenciálů je možno navzájem spojovat bez potíží. Rozdíl potenciálů ve skutečnosti o kinetice galvanické koroze nic nevyovídá. Reakční kinetika závisí na tom, o jaký kov se jedná. Například na titanu se rozpuštěný kyslík redukuje mnohem méně snadno než na mědi. Proto uhlíková ocel koroduje rychleji ve styku s mědí než ve styku s titanem, přestože titan má kladnější potenciál než měď.

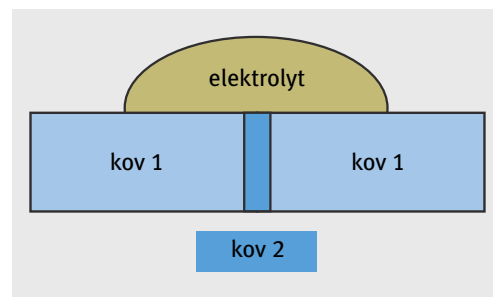
V této souvislosti sehrává rozhodující úlohu také tvorba korozních vrstev. Ty mohou výrazně změnit potenciál daného materiálu a bránit průběhu dílčí anodické či katodické reakce nebo obou.

3.4 Plochy povrchů katody a anody

Do výpočtu proudové hustoty makročlánku vstupuje faktor i_{el} (probíhající proud vztahovaný na plochu) daný poměrem ploch povrchu katodické oblasti (A_c) a anodické oblasti (A_a). Ten významně ovlivňuje rychlost galvanické koroze (*rovnice 3*).

$$i_{el} = \frac{A_c}{A_a} \cdot \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{rovnice 3})$$

Je-li katodický povrch (tj. plocha povrchu ušlechtilejšího kovu propojené dvojice) velmi malý oproti povrchu anodickému (tj. ploše povrchu méně ušlechtilého kovu), žádnou změnu korozního chování nepozorujeme. Tuto situaci zobrazuje *obr. 7*.

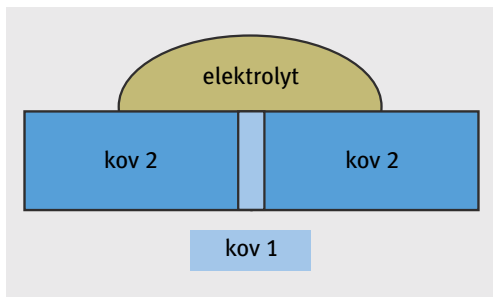


Obrázek 7:
Katoda (kov 2) je malá oproti anodě (kovu 1), takže k poškození nedochází.



Obrázek 8a, 8b:
Šrouby z korozivzdorné oceli na mnohem větších součástech z pozinkované oceli normálně korozi nevyvolávají.

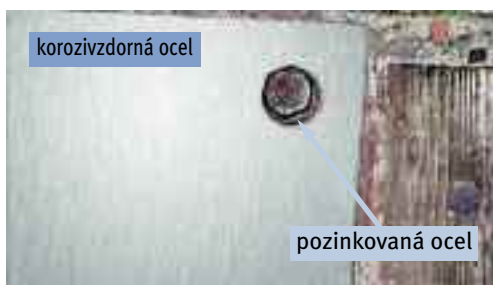




Obrázek 9:
Galvanická koroze je pravděpodobná, je-li anoda (kov 1) malá a katoda (kov 2) velká.

Šrouby z korozivzdorné oceli použité k montáži součástí z hliníku nebo z pozinkované uhlíkové oceli jsou typickým příkladem. Dvojí v praxi se vyskytující použití ukazuje obr. 8. Ani v korozním prostředí se u tohoto materiálu prakticky nevyskytuje galvanická koroze.

U součástí umístěných na vzduchu bývá někdy nesnadné přesně určit podíly anodického a katodického povrchu. Však to také ale pro praktické posouzení ani nemusí být nutné. Normálně stačí posoudit systém jako celek. Kombinujeme-li různé materiály, je správné na šrouby vždy použít ten ušlechtlejší materiál, aby plocha katodického povrchu byla malá.



V opačné situaci však může vzniknout problém. Je-li malá anoda obklopena velkou katodou, může docházet ke korozi působením makročlánku, jak ukazuje obr. 9.

Typické příklady takových situací uvádí obr. 10. Zde je zřejmé, že za podmínek schopných vyvolat korozi může druhý kov dvojice korodovat zvýšenou rychlostí.



Obrázek 11:
Aby nedocházelo ke galvanické korozi, je třeba k montáži panelů z korozivzdorné oceli používat výhradně šroubů z korozivzdorné oceli.

Obrázek 10a, 10b:
Praktické příklady uplatnění principu popsaného na obr. 9 (pozinkovaná uhlíková ocel ve styku s korozivzdornou ocelí v přímořském ovzduší)

4 Praktické poznatky pro různé aplikace

O korozním chování materiálových kombinací, jejichž součástí je korozivzdorná ocel, existuje množství poznatků z výzkumu i z praxe pro nejrůznější podmínky použití. Některé tyto výsledky shrnují *tab. 2 až 5*. Všem se vztahují ke stabilizovaným korozivzdorným ocelím s vyššími obsahy uhlíku. V zásadě však platí i pro značky s nižšími obsahy uhlíku jako EN 1.4307 nebo 1.4404.

Další informace jsou k dispozici v odborné literatuře, je však vždy třeba posuzovat korozní systém jako celek.

Vedle uváděných číselných hodnot platí na základě zkušeností jistá všeobecná konstatování, která v souhrnné podobě uvádějí následující kapitoly.

Tabulka 2: Korozní rychlosti různých kovových materiálů ve styku s korozivzdornou ocelí

Galvanický článek		Prostředí	Poměr ploch povrchů	Korozní rychlost (mm/rok)	
1.4016	uhlíková ocel	pitná voda, provzdušněná	1:1	0,47	
	Zn 99.9			0,26	
	Al 99.9			0,17	
	Cu-DGP			0,07	
	Ti			< 0,01	
1.4541	SF-Cu	umělá mořská voda	1:1	0,12	
			1:10	0,07	
			10:1	1,00	
	uhlíková ocel		1:1	0,38	
			1:10	0,25	
			10:1	1,10	
	Zn		1:1	0,61	
			Ti	1:1	< 0,01

Tabulka 3: Korozní rychlosti slitin ZnCuTi ve styku s korozivzdornými ocelmi značek EN 1.4541 a 1.4571 v 0,1 N NaCl (provzdušňovaný roztok nasycený CO₂, při pokojové teplotě) podle DIN 50919

Galvanický článek		Poměr ploch povrchů	Korozní rychlost (mm/rok)
1.4541	ZnCuTi	1:1	4,39
		1:5	1,43
1.4571	ZnCuTi	1:1	3,88
		1:5	0,91

Tabulka 4: Korozní rychlosti různých kovových materiálů ve styku s různými značkami korozivzdorných ocelí ve vodném roztoku 5 obj.% NaCl při 35 °C, při poměru ploch povrchů 1:1 (DIN 50919)

Galvanický článek	Korozní rychlost (mm/rok)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
uhlíková ocel	0,62	0,66	0,69
žárově pozinkovaná ocel	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
Cu-DGP	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Tabulka 5: Korozní rychlosti různých materiálů ve styku s korozivzdornou ocelí značky EN 1.4439 v Severním moři (jednorocní expoziční zkouška)

Galvanický článek		Poměr ploch povrchů	Korozní rychlost (mm/rok)
1.4439	uhlíková ocel	1:1	0,31
		4:1	0,75
		10:1	2,10
1.4439	AlMg 4.5 Mn	1:1	0,17
		4:1	0,26
		10:1	0,95
1.4439	CuNi 10 Fe	4:1	0,07
1.4439	CuZn 20 Fe	4:1	0,18

4.1 Úpravny vod a čistírny odpadních vod

Korozní účinky vody na korozivzdornou ocel se mohou značně lišit v závislosti na složení vody: deionizovaná voda zbavená nečistot korozi nevyvolává (leda při velmi vysokých teplotách). Pitná voda a vody podobných složení obsahují mírné koncentrace chloridových iontů (podle Směrnice o pitné vodě max. 250 mg/litr). Taková voda může za nepříznivých okolností vyvolávat bodovou (důlkovou) korozi nebo štěrbinovou korozi, a při společném působení vysokých teplot a chloridů též korozi praskání pod

napětím. Austenitické CrNiMo oceli značek jako EN 1.4401, 1.4404 a 1.4571 korozi ve většině případů odolávají, byly-li při výrobě správně ošetřeny. Též značka EN 1.4301 se v četných případech dobře osvědčuje.

Galvanická koroze v pitné vodě probíhat může, ale nebývá příliš závažná. Po mnoho let se úspěšně využívá různých kombinací korozivzdorné oceli, mědi, jejích slitin a červené mosazi u trubek a potrubí, u spojovacích součástí i u nádrží na studenou i horkou vodu, aniž by docházelo k jejich napadení galvanickou korozi (*obr. 12*). V málo okysličené vodě je sice možno s korozivzdornou ocelí spojovat uhlíkovou ocel, ale při jejím



spojení s pozinkovaným plechem či se slitinami hliníku jsou tyto materiály vystaveny riziku galvanické koroze [2].

Podmínky v odpadních potrubích jsou méně zřejmé. Vyskytují se zde vody nejrůznějšího složení, někdy jde o vodu vysoce vodivou, a riziko galvanické koroze rovněž zvyšuje celková agresivita odpadních vod vůči mnoha materiálům. Přehled možností spojování různých materiálů v provzdušněných splaškových vodách uvádí *tab. 6*. U pájených spojů je neobvykle důležité použít správnou pájku odolnou vůči korozi.

Obrázek 12:

U vodovodních rozvodů se s úspěchem používá kombinací korozivzdorné oceli s mědí a jejími slitinami, např. s bronzem.

Tabulka 6: Možnosti spojování různých materiálů v provzdušněných splaškových vodách

		Materiál s malou plochou				
		uhlíkové oceli / litiny	Zn / pozinkovaná ocel	Al	Cu	korozivzdorná ocel
Materiál s velkou plochou	uhlíkové oceli / litiny	+*	+*	–	o / –	+*
	Zn / pozinkovaná ocel	–	+	–	o*	+*
	Al	–	o / –	+*	–	+*
	Cu	–	–	–	+*	+*
	korozivzdorná ocel	–	–	–	o	+
	ocel v betonu	–	–	–	+	+

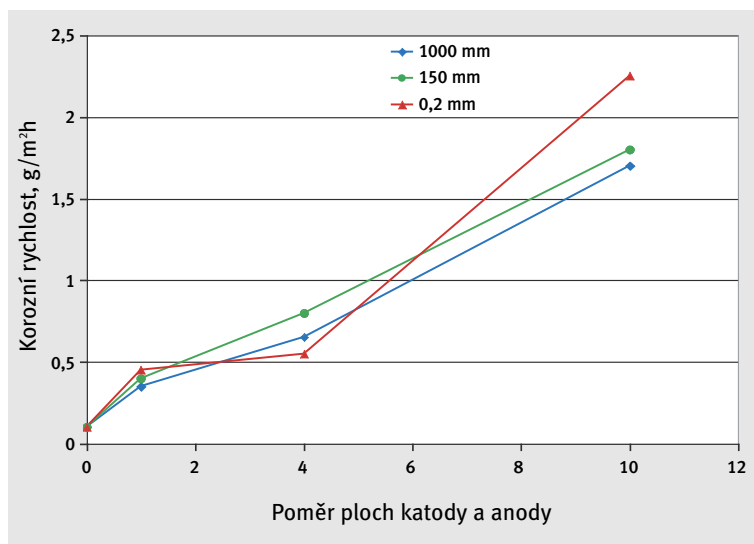
Klíč: + dobré o nejisté – špatné

* I když spojení kovů této dvojice ovlivní každý z nich jen nepatrně, jejich spojování se nedoporučuje, neboť méně ušlechtilý kov této dvojice sám o sobě rychle podléhá korozi.

Mořská voda (s typickou koncentrací cca 16 000 mg chloridových iontů na litr) a podobné typy vod s vysokými obsahy chloridů působí silně korozivně, takže obvykle bývá nutno použít výše legovaných značek, např. EN 1.4462, 1.4439, 1.4539 či 1.4565, nebo slitin na bázi niklu. Doporučení, jak zabránit korozi různých kovových materiálů ve vodách, uvádí norma EN 12502, části 1 až 5 [2]. Riziko galvanické koroze se odvíjí hlavně od vodivosti dotyčné vody (viz kapitola 2). Demineralizovaná voda obvykle v tomto ohledu nebývá příliš nebezpečná.

Mořská voda je prostředí vysoce vodivé a galvanickou korozi obvykle podporuje. Koroze zde ohrožuje nejen součásti z hliníkových slitin, zinku nebo pozinkované uhlíkové oceli, nýbrž i z mědi nebo bronzu. **Obrázek 13** ukazuje vliv poměru ploch katody a anody na korozní rychlosti materiálových kombinací, jejichž součástí jsou korozivzdorné a uhlíkové oceli. Je zřejmé, že v tomto vysoce vodivém prostředí je vzdálenost mezi katodou a anodou bez většího významu. Kovové součásti mohou být náchylné ke kontaktní korozi i tehdy, jsou-li od sebe poměrně vzdáleny, existuje-li mezi nimi elektricky vodivé propojení (např. přes společné uzemnění).

Obecně jsou korozi ohrožena zařízení úpraven vod, kdy se korozivzdorná ocel dostává do styku s aktivním uhlím, jakého se běžně používá k filtraci. Někdy se částice filtru uvolní a dostanou se do styku s korozivzdornou ocelí. Pak může velký povrch filtračního materiálu působit jako katoda a polarizovat korozivzdornou ocel o 200 až 300 mV v kladném směru. Tento posun může u feritických ocelí a u austenitických ocelí bez molybdeny vyvolat štěrbinovou a bodovou (důlkovou) korozi, a to i při nízkých



Obrázek 13: Vliv poměru ploch povrchů a vliv vzdálenosti anody a katody na korozní rychlost uhlíkové oceli ve styku s korozivzdornou ocelí v mořské vodě (při trvalém ponoření do vod Severního moře).

obsazích chloridů. Příklad tohoto napadení ukazuje obr. 14. Zde došlo ve vodojemu u některých nádrží na napájecí vodu s průměrným obsahem chloridů 150 mg/l ke koroznímu napadení šroubů z korozivzdorné oceli, kterými byla dna filtračních sekcí připevněna k železobetonovému podkladu. Důlková a štěrbinová koroze byla pozorována pouze u těch filtračních nádrží, kde se voda filtrovala přes aktivní uhlí, které se mohlo při proplachovacích operacích dostávat do styku se zmíněnými šrouby. Jako materiály na různé šrouby zde byly předepsány značky EN 1.4301, 1.4571 a 1.4401, a feritická korozivzdorná ocel značky EN 1.4016 byla použita omylem. Nebylo divu, že právě ocel této značky byla korozi nejvíce poškozena.

Obrázek 14:
Galvanická koroze šroubů z korozivzdorné oceli na filtrační nádrži úpravny vody využívající aktivního uhlí: sešroubovaný spoj (vlevo) a kotvící šroub z oceli EN 1.4016 po sejmutí matice s viditelným korozním úbytkem na průřezu (vpravo).



4.2 Součásti vystavené atmosférické korozi

Zatímco v potrubích a nádržích naplněných vodnými roztoky bývá elektrolyt přítomen vždy, u součástí pracujících na vzduchu tomu tak vždy být nemusí. Na vzduchu totiž takové součásti korodují pouze tehdy, jsou-li vystaveny působení vlhkosti. Jejich povrch se ani nemusí dostat do přímého styku s dešťovou nebo stříkající vodou. Mikroskopická vlhká vrstva se na nich často může vytvořit absorpcí vodní páry z okolního vzduchu. Často může docházet i k viditelné kondenzaci. Nečistoty a vodonasákové úsady mohou dobu setrvání vlhkosti na povrchu součástí významně ovlivnit. Ve štěrbinách se špatným přístupem vzduchu, např. pod podložkami nebo mezi vzájemně se přesahujícími plechy, se vlhkost může udržovat prakticky neustále. Na rozdíl od součástí ponořených ve vodě nebo vodném roztoku se zde tvorba korozních článků může omezovat jen na velmi malé plochy. Dva materiály se zde navzájem ovlivňují jen v malé oblasti podél stykové zóny a většina povrchu druhého kovu již nemá žádný významný vliv. V těchto případech má poměr ploch obou kovů jen omezený význam, takže známá pravidla o poměru ploch zde normálně nefungují.

Jelikož na vzduchu mají galvanické články jen omezený dosah, obvykle k zabránění galvanické koroze postačí zakrýt korozivzdornou ocel v úzké zóně podél stykové linie.

Problémem mohou být neustále vlhké štěrbiny mezi součástmi z korozivzdorné oceli a jinou součástí z méně ušlechtilého kovu, např. hliníku, zinku nebo pozinkovaného plechu. Zde se osvědčují pružná těsnění, která štěrbinu vyplní. Naproti tomu těsnící hmoty náchylné ke křehnutí a praskavosti mohou situaci ve štěrbině ještě zhoršit.

Tabulka 7 uvádí údaje o vzájemné snášenlivosti materiálů na vzduchu.

4.3 Korozivzdorné oceli ve stavebnictví

Ve stavebnictví se s postupem doby stále více využívá korozivzdorných ocelí. Jednak nabízejí nové možnosti pro architekturu, a také se snadno zpracovávají a výborně odolávají korozi, což je nesmírně důležité. Korozivzdorných ocelí se využívá na viditelné povrchy staveb i na jejich konstrukční a spojovací prvky (např. šrouby). Nejběžnější jsou oceli CrNi typu 18/8 a dále oceli CrNiMo typu 17/12/2, obzvláště vhodné na jakostní povrchy vystavené působení průmyslového nebo městského ovzduší nebo na špatně přístupné součásti staveb jako nosné prvky fasád. Někdy je těžké se vyhnout propojení korozivzdorné oceli s jinými kovy. Pro korozní chování pak má kritický význam konstrukční řešení: na povrchu skráceném deštěm nebo ovlhčeném kondenzací, ať už uvnitř budov nebo v exteriéru, na sebe různé kovy vzájemně působí významnou měrou jen na nevelkou vzdálenost od míst jejich styku.

U součástí vystavených venkovnímu ovzduší a kondenzaci vodní páry je klíčovým faktorem doba ovlhčení. Jen občasné a krátkodobé ovlhčení vodou, která se sráží na povrchu, normálně galvanickou korozi nevyvolává. Právě proto je konstrukční řešení tak důležité. Faktory podporující rychlé osychání ovlhčených ploch (dobré provzdušnění, řešení bez štěrbin, volný odtok dešťové vody, hladké povrchy) korozní napadení oslabují. Naproti tomu na plochách trvale vlhkých (ve štěrbinách nebo na zakrytých místech), kde se drží voda a nečistoty, může být riziko galvanické koroze silně zvýšeno. Součásti vystavené působení počasí, odkud déšť odplavuje nečistoty a které vítr rychle osušuje, koroze poškodí méně než součásti zapuštěné, se zářezy a záhyby, které jsou sice chráněny před deštěm, ale zůstávají dlouho vlhké a hromadí se na nich špína.

I když poměr ploch povrchů má pro průkaz rizika koroze jen omezenou hodnotu, je obecně třeba se vyhýbat konstrukčním řešením s malými anodami a velkými katodami.

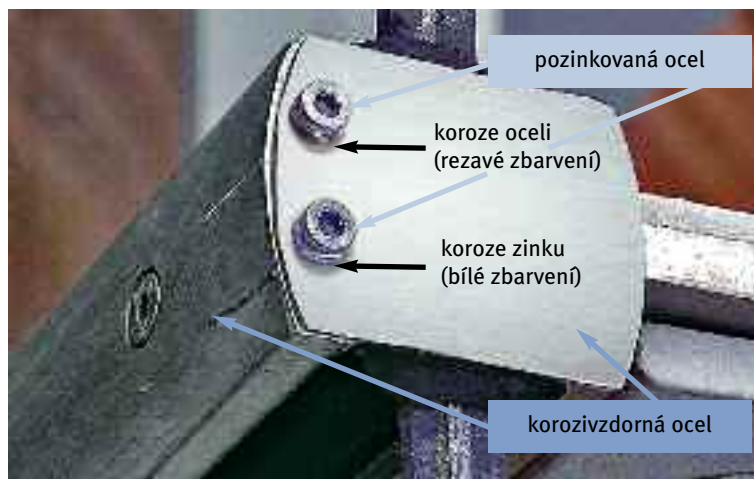
Tab. 7: Vzájemná snášlivost materiálů na vzduchu

		Materiál s malou plochou				
		uhlíkové oceli / litiny	Zn / pozinkovaná ocel	Al	Cu	korozivzdorná ocel
Materiál s velkou plochou	uhlíkové oceli / litiny	+	–	–	+	+
	Zn / pozinkovaná ocel	+	+	+	o	+
	Al	o / –	o	+	o / –	+
	Cu	–	–	–	+	+
	korozivzdorná ocel	–	–	o / –	+	+

Klíč: + dobré o nejisté – špatné

* I když spojení kovů této dvojice ovlivní každý z nich jen nepatrně, jejich spojování se nedoporučuje, neboť méně ušlechtilý kov této dvojice sám o sobě rychle podléhá korozi.

Obrázek 15:
Krytka z korozivzdorné oceli (na montážním celku fasády) připevněná šrouby z pozinkované oceli: v městském ovzduší se po roce na šroubech vytvořila bílá rez a ocel se zbarvila (korozí)



Při nedodržení této zásady vzniká nebezpečí galvanické korozí i na dobře provzdušňovaných plochách.

Takový případ ukazuje obr. 15. Krytky přichycené dvěma pozinkovanými ocelovými šrouby zakončují vodorovné nosníky z korozivzdorné oceli na prosklené fasádě. Od štěrbin mezi krytkou a šrouby se táhnou stopy bílé rzi. Dochází dokonce i k určité korozí základního materiálu. Korozí byla zjištěna po pouhých 12 měsících od dokončení stavby, což ukazuje, že takovéto řešení není natrvalo únosné. Pozinkované ocelové šrouby by bylo třeba nahradit šrouby z korozivzdorné oceli.

Na střeších – u nových staveb i při rekonstrukcích – se většinou používá šroubů z korozivzdorné oceli všude tam, kde jsou ve styku s jinými kovovými materiály nebo ko-

vovými povlaky. Díky výhodnému poměru ploch anodických a katodických povrchů zde obecně u těchto materiálových kombinací žádné riziko korozí nehrozí. Při opravách střeš se dosti často větší plochy plechů z korozivzdorné oceli propojují s jinými kovy. Ani tyto kombinace v zásadě nejsou rizikové, pokud poměr plochy korozivzdorné oceli k ploše hliníku nebo pozinkovaného plechu není výrazně vyšší než 1 : 1.

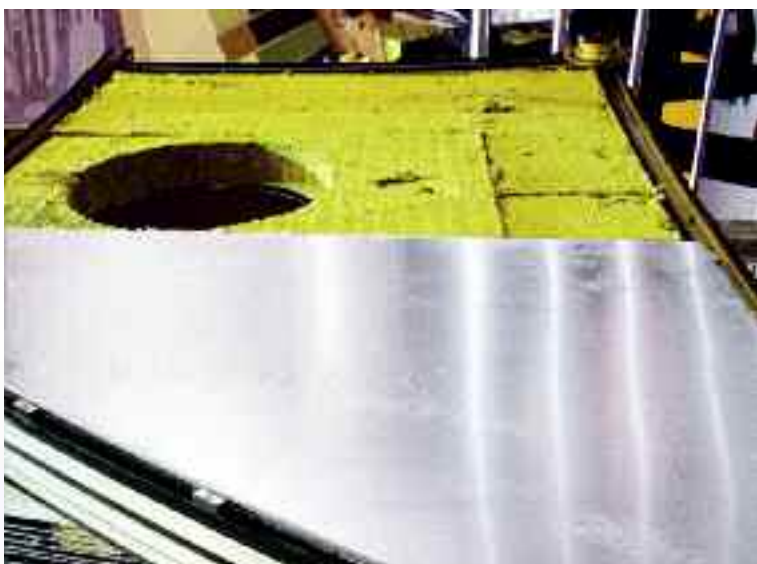
Obrázky 16 až 19 uvádějí praktické příklady, jak účinně zabránit korozí vyvolávané vznikem galvanického článku na pláštích budov.



Obrázek 16:
Atomium v Bruselu má
venkovní panely z korozi-
vzdorné oceli připevněné
na konstrukci z uhlíkové
oceli



Obrázek 17:
Venkovní panel z korozi-
vzdorné oceli je vhodnými
spoji izolován od vnitřního
panelu z pozinkované
oceli.



Obrázek 18:
Výroba izolovaných panelů,
které mají na vnější straně
plech z korozivzdorné oceli
a na vnitřní straně plech
z uhlíkové oceli



Obrázek 19:
Při zamezení průniku
vlhkosti nehrozí galvanická
koróze vnějšího obložení
z korozivzdorné oceli připev-
něného k vnitřní konstrukci
z uhlíkové oceli.



Obrázek 20:
Pro výfukové soustavy automobilů se běžně dává přednost nasazení korozivzdorných ocelí. Galvanické korozi brání pryžové vložky uchyvacích prvků.

Obrázek 21:
Rozšiřují se palivové nádrže z korozivzdorných ocelí. Upevňovací prvky zajišťují, aby nádrž nebyla vodivě spojena s okolní konstrukcí vozidla



4.4 Korozivzdorné oceli na vozidlech

U osobních automobilů a jiných silničních vozidel jsou z korozivzdorných ocelí (feritických s 12 % až 18 % chromu i austenitických s cca 18 % chromu) různé lišty, obroučky, ozdobné prvky a výfuky (obr. 20), palivové nádrže (obr. 21) a stále více i součásti karoserie i podvozku. U kolejových vozidel se běžně používá feritických ocelí v kombinaci s nátěry (obr. 22, 23, 24). Austenitických korozivzdorných ocelí se v mnoha zemích rovněž tradičně používá na železniční vagony (obr. 25); ke galvanické korozi zde nedochází.



Obrázek 22:
Jednoduché izolační postupy zajistí kompatibilitu tramvajové karoserie z feritické korozivzdorné oceli s podvozkem z uhlíkové oceli.

Obrázek 23:
Bočnice vagonu příměstské dopravy a její nosná konstrukce jsou z různých značek korozivzdorných ocelí. Jejich potenciál je stejný, takže ke galvanické korozi nedochází.



Obrázek 24:
Korozivzdorná ocel (obvykle feritická, opatřená nátěrem) je na autobusech kompatibilní s podvozkem z uhlíkové oceli.

I zde je důležité nedopustit vznik štěrbin mezi součástmi z korozivzdorné oceli a z méně ušlechtilých materiálů, kde by nečistoty a vlhkost mohly podporovat korozi. Opět je možno takové štěrbiny vyplnit vhodným polymerem. Účinnou prevencí galvanické koroze u vozidel jsou rovněž nátěry kovových součástí v místech jejich styku s korozivzdornou ocelí, jak již bylo popsáno výše.



Obrázek 25:
Bočnice vagonů se v mnoha částech světa vyrábějí z austenitických korozivzdorných ocelí, aniž by vznikaly problémy s galvanickou korozi.

Odpovědi na často kladené otázky

Otázka:

Vzniká riziko koroze působením galvanického článku při vzájemném propojení korozivzdorných ocelí různého složení?

Otázka:

Mezi korozivzdornými oceli různých typů (tedy mezi oceli různých tříd korozní odolnosti) obecně ke galvanické korozi ne-

Obrázek 26:

Mezi různými druhy korozivzdorných ocelí ke galvanické korozi nedochází ani v případech, kdy každý tento druh má jinou korozní odolnost.



dochází, protože oba tyto kovy mají stejný korozní potenciál. Avšak korozní odolnost každé značky oceli je třeba posuzovat individuálně. Též platí, že materiál méně odolný proti korozi musí pořád ještě za daných podmínek mít dostatečnou odolnost (obr. 26).

Otázka:

Je možno použít korozivzdornou ocel ve spojení s mědí nebo pozinkovanou ocelí při opravách domácí vodoinstalace?

Otázka:

K žádným problémům by nemělo dojít tam, kde se trubky z korozivzdorné oceli kombinují s měděnými, protože oba tyto materiály mají v pitné vodě podobné korozní potenciály. Součástí vodoinstalace z žárově pozinkované oceli je též možno s korozivzdornou ocelí kombinovat. Doporučuje se však použít spojek ze slitin mědi a zinku nebo z červené mosazi.

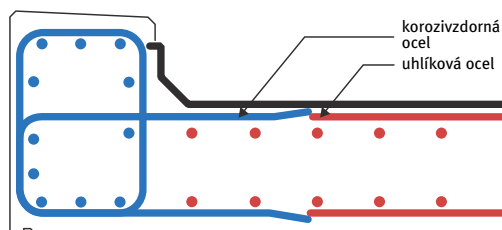
Otázka:

Je možno v železobetonu propojit výztuž z korozivzdorné a z uhlíkové oceli?

Otázka:

Ano, spojení s výztuží z uhlíkové oceli by normálně nemělo působit žádné korozní problémy, neboť tato ocel zde má stejný korozní potenciál. Tato kombinace je vhodná pro zabránění korozi tam, kde výztuž z betonu vystupuje na povrch nebo kde přichází do styku s trubkami. Spoj musí být dobře pře-

kryt betonem, a to vrstvou tloušťky alespoň 3 cm. Nachází-li se výztuž z uhlíkové oceli v aktivním stavu (tj. je-li depasivována působením chloridů a/nebo nauhličením), může ke galvanické korozi dojít. Většinou jsou však tyto účinky mnohem slabší než neodvratné vytváření článků typu aktivní–pasivní přímo ve výztuži z uhlíkové oceli (jejichž působením ke galvanické korozi dochází), jelikož korozivzdorná ocel má mnohem nižší katodickou účinnost než ocel uhlíková (obr. 27).



Otázka:

Pokud dané konstrukční řešení zabrání dlouhodobému zadržování elektrolytu (třeba dešťové vody nebo tajícího sněhu), je tato kombinace přijatelná. Jinak je vhodné použít plastových vložek.

Obrázek 27:

Pokud je uhlíková ocel překryta dostatečnou vrstvou betonu a je v pasivním stavu, je možno výztuž z korozivzdorné oceli a z uhlíkové oceli navzájem propojovat, aniž by vznikalo riziko galvanické koroze

Otázka:

Je možno podložkami z nevodivých polymerů účinně zabránit kontaktní korozi mechanických spojů?

Otázka:

Přestože takový spoj nezabrání spojení typu kov–kov v závitě, je možno tyto podložky doporučit, protože zajišťují dodatečnou ochranu nejrizikovějších míst.

Otázka:

Je možno parapetové výplně z korozivzdorné oceli kombinovat se sloupky z uhlíkové oceli?

5 Prevence galvanické koroze

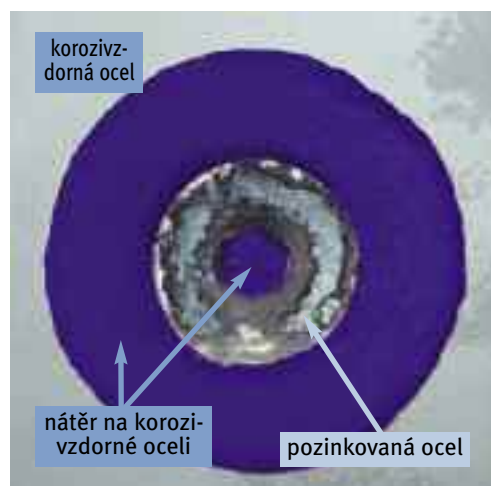
Evidentně nejlepší prevencí galvanické koroze je zvolit již při projektování takové materiály, které jsou vzájemně kompatibilní. Pokud je nutno užít materiálů, které by na sebe mohly vzájemně působit, je třeba učinit ochranná opatření. O jaká opatření by mělo jít, uvádí kapitola 2. Možnosti, které jsou v praxi k dispozici, popisuje *obr. 3*:

- elektrickým odizolováním součástí (izolanty, plastovými vložkami, polyamidovými podložkami);
- umístěním spoje obou materiálů v místě, kam neproniká vlhkost;
- nátěrem katody nebo anody i katody (buď po celé ploše nebo jen v místě spoje obou kovů).

Je třeba poznamenat, že pro zabránění vzniku galvanické koroze není vhodné aplikovat nátěr pouze na anodu. Je-li nátěr nebo povlak nedokonalý nebo porušený, čemuž je někdy těžko zabránit, vznikne kritický korozní článek: jakékoliv poškození povlaku či nátěru pak obnaží malou anodu, která může rychle korodovat.

Pro omezení katodového efektu součásti z korozivzdorné oceli často postačí natřít ji v oblasti spoje (*obr. 28*). Potřebná velikost takto izolované oblasti závisí na vodivosti korozního prostředí, kterému jsou součásti vystaveny. Pokud se pokrývají poměrně tenkými a jen slabě vodivými vrstvami elektrolytu za pokojové teploty, často postačuje natřít je pouze do vzdálenosti několika centimetrů od stykové linie, a to na straně korozivzdorné oceli. Pokryjí-li se slány vrstvami tloušťek několika milimetrů, rozšíří se účinná katodická oblast i na vzdálenost větší než 10 cm.

Obrázek 28:
Prevence kontaktní koroze pozinkované oceli natřením součástí z korozivzdorné oceli v malé oblasti kolem místa styku. Výsledky zkoušky skrápěním solným roztokem po dobu 48 hodin: bez nátěru dojde k reza-
vění působením galvanické koroze (vlevo); natření korozivzdorné oceli v místě styku korozi
zabrání (vpravo).



6 Literatura

- [1] DIN EN ISO 8044,
Ausgabe:1999-11
Korrosion von Metallen und
Legierungen – Grundbegriffe
und Definitionen
- [2] DIN EN 12502
Teil 1 bis 5, Ausgabe:2005-03
Korrosionsschutz metallischer
Werkstoffe – Hinweise zur
Abschätzung der Korrosionswahr-
scheinlichkeit in Wasserverteilungs-
und Speichersystemen
- [3] H. Gräfen,
"Korrosionsschutz durch
Information und Normung"
Kommentar zum DIN-Taschenbuch
219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988)
S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion"
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966)
S. 321
- [5] D. Kuron
"Aufstellung von Kontaktkorrosions-
tabellen für Werkstoffkombinationen
in Wässern"
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985)
S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen
"Praktische elektrochemische
Kontaktkorrosionstabellen von
Konstruktionswerkstoffen des Chemie-
Apparatebaues"
Metalloberfläche 26
(1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion im
Maschinen- und Apparatebau"
Der Maschinen Schaden 40 (1967)
Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk
"Probleme der Kontaktkorrosion"
Metalloberfläche 35
(1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti, R.
Dietiker, P. Gritsch
"Automatische Ermittlung von
Kontaktkorrosionsdaten und ihre
Auswertung mittels
Polarisationsdiagrammen"
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978)
S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass
"Kontaktkorrosion zwischen verschie-
denen Werkstoffen in Meerwasser"
Jahrbuch der Schiffbautechnischen
Gesellschaft 80
(1986) S. 105
- [11] R. Francis
"Galvanic Corrosion:
a Practical Guide for Engineers"
NACE International (2001)
Houston Texas 77084
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013
"Korrosionsschutzgerechte
Konstruktion"
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche
Zulassung Z-30.3-6
"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und
Bauteile aus nichtrostenden Stählen"
(jeweils gültige Fassung)
Sonderdruck 862 der Infor-
mationsstelle Edelstahl Rostfrei

ISBN 978-2-87997-324-1