

## 10. POVRCHOVÁ ÚPRAVA KOVŮ A ZAŘÍZENÍ

### 10.1. KOROZE KOVŮ A JEJÍ PŘÍČINY

Koroze kovů je rozrušení kovů a jejich slitin v důsledku jejich chemické nebo elektrochemické reakce s korozním prostředím, tzn. s látkami různého skupenství, které svým působením daný materiál chemicky znehodnocují. Předměty přitom ztrácejí lesk, narušuje se jejich vnější vzhled, někdy se zcela poruší jejich tvar a soudržnost.

Téměř všechny kovy a slitiny kovů, které se používají v průmyslu, podléhají korozi; některé jsou však odolnější, jiné méně odolné. Nejvíce koroduje ocel a litina. Hliník, hořčík, měď a zinek (a jejich slitiny) jsou také málo odolné proti korozi, ale na jejich povrchu se vytvoří vrstva oxidu, která je chrání před další korozi. Tato vrstva je souvislá a dobře lepe k povrchu, takže zamezuje přímému styku kovu s korozním prostředím. Ušlechtilé kovy a také nikl, chrom a cín velmi dobře odolávají korozi.

Ocel má špatnou korozní odolnost, ale přísadou niklu a chromu se stává korozivzdornou. Některé čisté kovy odolávají korozi lépe než jejich slitiny.

Příčiny koroze bývají různé. V podstatě je lze rozdělit na *chemické* a *elektrochemické*, avšak účinek těchto mechanismů může být podpořen působením bakterií, bludných proudů, chvění atd.

#### 10.1.1. Chemická koroze

Chemická koroze zahrnuje případy koroze v plynech a neelektrolytech. Jde o bezprostřední vzájemné působení korozního prostředí na kovy nebo na slitiny kovů. Produkty korozní reakce tvoří vrstvu korozních zplodin na místě, kde k reakci došlo. Růst této vrstvy a rychlost koroze závisí na jakosti (souvislosti) vrstvy. Souvislá vrstva korozních zplodin chrání předmět před další korozi.

Nejčastějším případem chemické koroze v plynech je koroze v oxidujících prostředích (kyslík, vzduch, vodní pára,  $\text{CO}_2$  apod.). V chemických průmyslových provozech se však setkáváme i s redukčním plynným prostředím (vodík, amoniak, methan atd.).



Při korozi oceli dochází k oxidaci železa. Vrstva oxidů (rez) je však šupinatá, proto se koroze nezastavuje a postupuje dále do hloubky. Tím ubývá vlastního materiálu (korozní úbytek).

Typickým případem koroze v neelektrolytech je oxidace kovů ponořených do vody. Zoxidovaná vrstva sice chrání kov před korozi v plynném prostředí, ale při ponoření do vody může docházet k další oxidaci.

#### 10.1.2. Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze je znehodnocování kovů, při kterém se reakční energie koroze vybavuje v podobě elektrického proudu. Její mechanismus je obdobný jako změny v galvanickém článku při průchodu proudu.

Jestliže je na styku dvou různých kovů přítomen elektrolyt, vzniká *galvanický článek*. Přitom se rozrušuje místo, které je anodou tohoto článku – materiál tohoto místa přechází do roztoku neboli koroduje. Takový galvanický článek se nazývá *korozní článek*. Podle velikosti jednotlivých úseků koroze rozlišujeme *korozní makročlánek* (jeho elektrody jsou viditelné pouhým okem – např. celé součásti z různých kovů) a *korozní mikročlánek* (s elektrodami mikroskopických rozměrů – vzniká chemickou nehomogeností kovu, trhlinami a póry v ochranné vrstvě apod.). Korodující povrch kovu lze považovat za soustavu korozních mikročlánků. Elektrolytem bývá nejčastěji voda, která je vlastně roztokem různých solí a dalších látek.

#### 10.1.3. Koroze bludnými proudy

V zemi (v půdě) jsou různé organické i anorganické látky a voda, která vždy obsahuje různé kyseliny a soli, a proto bývá dobrým elektrolytem. V důsledku přítomnosti tohoto elektrolytu jsou kovové části uložené v zemi (potrubí, nádrže, pláště kabelů atd.) vystaveny účinkům elektrochemických dějů. K této elektrochemické korozi přistupuje navíc velmi nebezpečná koroze způsobená *bludnými proudy*. Jsou to stejnosměrné proudy procházející zemí, jejichž zdrojem jsou elektrická zařízení buď nedostatečně izolovaná proti zemi, nebo používající zem jako zpětný vodič (zejména měnirny a dráhy stejnosměrné kolejové dopravy, dále galvanizovny, svařovny apod.). Bludné proudy se při průchodu zemí setkávají s kovovými částmi různých zařízení, vstupují do nich, využívají

určité jejich úseky jako vodiče (protože kov má větší vodivost než zem) a pak z nich zase vystupují. V místech výstupu nastává elektrolytické rozpouštění kovu. Tyto nebezpečné korozní účinky bludných proudů zmenšují životnost podzemních kovových částí a mohou nepříznivě ovlivnit jejich provozní bezpečnost.

V ČSSR je asi 300 000 km potrubí a několik miliónů kilometrů kabelů. Jejich hodnota představuje několik miliard korun. Zmenšování životnosti a havárie způsobené bludnými proudy znamenají každoročně značné ztráty.

Největším zdrojem bludných proudů bývá elektrická kolejová trakce v městské hromadné dopravě. A právě ve městech je největší hustota potrubí a kabelů. Poruchy v rozvodu plynu způsobené korozi bludnými proudy tvoří asi 40 % z celkového počtu poruch.

Tyto hospodářské škody lze podstatně omezit vhodnou protikorozi ochranou, a to buď pasívní (např. izolační vrstva na chráněném povrchu), nebo aktivní (vytvoření takového stejnosměrného elektrického obvodu mezi chráněnými zařízeními a korozním prostředím, aby jeho účinek podstatně snížil korozní vliv bludných proudů).

#### 10.1.4. Atmosférická koroze

Kovové předměty bývají téměř vždy vystaveny účinkům vzduchu, který má určitou vlhkost (obsah vodních par). Změnou (poklesem) teploty v průběhu dne a noci dochází ke srážení páry na předmětech, které se ochlazují rychleji než vzduch – tedy především na kovech. Vytvářejí se tak kapičky rosy, které mohou sloužit jako elektrolyt potřebný k elektrochemické korozi. Účinek atmosférické koroze podstatně zvětšují některé chemické látky ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) obsažené ve vzduchu a posléze rozpuštěné v kondenzované páře (rose). Taková korozní prostředí bývají zejména v průmyslových oblastech. Atmosférickou korozi koroduje nejen ocel, ale i odolnější kovy, jako jsou měď, nikl. Proto je třeba kovové předměty pečlivě chránit buď povrchově (nátěry), nebo legováním (přidávkou určitého množství přísad do taveniny; např. do oceli se pro zlepšení korozní odolnosti přidává asi 0,5 % Cu).

Porušování struktury kovu korozi se nazývá korozní napadení. Posuzuje se podle vzhledu napadených míst:

*Důlková koroze* se projevuje důlkovým napadením materiálu, na jehož povrchu jsou přesně vyhraněné korozní články (aktivní místa), přičemž



ostatní části povrchu jsou chráněny pasivním povrchem. Její vznik je podmíněn nečistotami v materiálu, místními shluky krystalů apod. Koroze postupuje do hloubky a vede k úplnému proděravění materiálu.

*Povrchová koroze* vytváří na povrchu rovnoměrnou vrstvu napadeného materiálu. Může však mít i tvar brázdy na svařovaných místech, kde se ohřevem změnila krystalická struktura, nebo na stěnách nádob v místě, kde se jich dotýká hladina kapaliny.

*Mezikrystalová koroze* je druh koroze, při níž koroze hranic zrn je podstatně rychlejší než koroze vlastního zrna. Za nepříznivých podmínek proniká do velké hloubky a narušuje soudržnost krystalů. Projeví se zkřehnutím materiálu, což vede k destrukci součásti při namáhání nebo k jejímu samovolnému rozpadu. Nebezpečí tohoto druhu korozního napadení spočívá také v tom, že na povrchu materiálu se neobjeví žádné viditelné změny. Jednou ze známek mezikrystalové koroze je ztráta schopnosti předmětu vydávat při poklepu charakteristický kovový zvuk.

## 10.2. OCHRANA MATERIÁLU PROTI KOROZI

Ochrana proti korozi patří mezi hlavní úkoly celého průmyslu – tedy i elektrotechnického. Týká se nejen konečných (finálních) výrobků, ale i součástí, dílů a polotovarů, protože koroze může probíhat už během výroby, skladování, přepravy apod. Podle délky působení rozlišujeme ochranu dočasnou a ochranu konečnou.

*Dočasná ochrana* se aplikuje čištěním povrchu, meziperační ochranou, konzervací a protikorozním balením. Jejím úkolem je po určitou dobu bránit nebo omezovat pronikání plynů z atmosféry k součástce. Ochranné prostředky musí být snadno odstranitelné (obvykle ohřátím na určitou teplotu). Tyto prostředky lze rozdělit podle povahy jejich účinku na:

a) prostředky tvořící na povrchu kovů ochrannou vrstvu – vytěsňovače vody (různé konzervační roztoky, oleje, vazelíny, pasty, vosky, aerosoly, snímatelné laky atd.),

b) inhibitory koroze (buď kovy pasivují, nebo adsorpci vytvářejí na povrchu tenký ochranný film),

c) destimulátory koroze (vážou na sebe ty složky atmosféry, které způsobují korozi).

*Konečná ochrana* proti korozi v sobě zahrnuje celý komplex opatření, jako je volba materiálu z hlediska jeho chemického a strukturního složení, konstrukční provedení výrobku, úprava prostředí, v němž výrobek slouží,

úprava ochrannými vrstvami a v poslední době i elektrochemická ochrana s vnějším zdrojem elektrického proudu.

Konečnou ochranou v užším smyslu zpravidla rozumíme vytvoření ochranné vrstvy na povrchu, popř. v dutinách součásti (antikorozi povlak), která chrání materiál po dostatečně dlouhou dobu. Ochranná vrstva se vytváří nanášením antikoročních nátěrových hmot nebo různými způsoby pokovování.

### 10.2.1. Organické povlaky

#### Antikorozi nátěrové hmoty

Povlaky z nátěrových hmot jsou účinnou ochranou proti korozi. Je však třeba dodržet tyto zásady:

- před nanášením dokonale očistit povrch součásti (ručně ocelovými kartáči a škrabkami, mechanicky otryskáváním nebo opalováním, chemicky odmašťováním a mořením),

- zvolit správnou nátěrovou hmotu (pro daný účel a dané podmínky),

- určit správnou technologii nanášení.

Optimální viskozity nátěrové hmoty se dosahuje ředěním. Výrobce udává ke každé nátěrové hmotě druh ředidla, které je nutné použít. Nátěrové hmoty a ředidla jsou zpravidla hořlaviny a navíc jejich výpary jsou zdraví škodlivé. Proto je třeba při práci s těmito látkami dodržovat bezpečnostní předpisy udané výrobcem. *Zvláště nutné je vyvarovat se otevřeného ohně (kouření).*

V Československu se vyrábí široký sortiment nátěrových hmot vhodných k nejrůznějšímu použití. Každá z nich má svoje písmenno-číslicové označení.\*) Výrobci poskytují ve svých katalogích informace o vhodnosti jejich použití, o způsobu nanášení, ředění a sušení, o zásadách bezpečnosti při práci apod. Jako příklad uvedme některé z nich.

*Základní fermežová barva na konstrukce* O 2004 s obsahem suříku. Je vhodná pro základní nátěry ocelových konstrukcí, součástí strojů, okapových rour a dalších zařízení vystavených přímému vlivu povětrnosti.

*Vrchní fermežová barva venkovní* O 2013. Je vhodná na vrchní polepškové nátěry kovových částí vystavených povětrnosti.

*Fermežová barva vrchní venkovní na konstrukce* O 2014 s obsahem sloučenin olova. Používá se na ocelové konstrukce vystavené atmosférickým vlivům (zejména v průmyslových oblastech).

\*) Viz poznámku na str. 232.



*Povrchový olejový email O 2900* odolný proti kyselinám a zásadám. Je vhodný pro vrchní nátěry předmětů vystavených střídavému působení vody, výparů nebo roztoků kyselin a slabých louhů. Používá se na povrchové nátěry impregnovaných vinutí elektrických strojů.

*Asfaltový lak A 1001* odolný proti účinkům vody. Používá se k vytvoření ochranné vrstvy na oceli, zdivu apod. Chrání proti trvalým účinkům vlhkosti.

*Chlorkaučukový lak H 1000*. Vyznačuje se velkou odolností proti chemickým látkám. Používá se na nátěry, které mají odolávat působení vody, anorganických kyselin, louhů, roztoků solí, alkoholů a ropných olejů. Používá se i k napouštění pórovitých podkladů před natíráním chlorkaučukovými podkladovými barvami a vrchními emaily.

*Povrchový chlorkaučukový lak H 1900*. Je velmi vhodný k povrchové ochraně vinutí elektromotorů proti účinkům vlhkosti.

*Základní syntetická barva S 2000*. Je vhodná na základní nátěry, zejména na předměty z plechu.

*Základní suříková syntetická barva S 2005*. Hodí se k nanášení rychleschnoucích základních nátěrů.

*Jednovrstvový syntetický email S 2034*. Je to speciální email vhodný k vytváření ochranného povlaku ocelových konstrukcí a šasi; chrání před vlhkostí a povětrnostními vlivy.

*Dvousložková základní epoxidová barva S 2300*. Používá se na základní nátěry pod vrchní epoxidové nátěry na kovových, zejména lesklých podkladech (ocel, mosaz, hliník aj.).

*Dvousložkový lesklý epoxidový email S 2321*. Používá se na vrchní lesklé nátěry pro chemicky náročné prostředí. Podkladem bývá vrstva základní barvy S 2300.

*Vrchní syntetický email S 2901*. Používá se na nátěry koster elektrických strojů určených pro provoz v tropickém podnebí.

### Organické povlaky z práškových plastů

Při nanášení klasických rozpouštědlových nátěrových hmot se na vytvoření povlaku podílí jen asi 20 až 40 % nátěrové hmoty (sušina), zbytek (organická rozpouštědla) se odpaří. Proto se dnes zavádí nanášení organických povlaků z práškových plastů, které přináší mnohé výhody – úsporu rozpouštědel, dokonalé využití nanášeného prášku, lepší kvalitu povlaků, snížení pracnosti, zlepšení hygieny pracovního prostředí atd.

Organické povlaky z práškových plastů se vytvářejí několika způsoby. Všechny spočívají v nanesení práškového plastu (termoplastu nebo reakto-plastu) na příslušnou součást a v následném vytvoření souvislé vrstvy působením tepla (roztavením prášku, popř. vytvrzením).

Základní používané způsoby nanášení jsou:

– *nanášení ve fluidním loži* (předehřátý předmět se ponoří do nádoby se zviřeným práškovým plastem; zrnka prášku se natavují a ulpívají na předmětu),

– *pneumatické naprašování* (prášek se nanáší vzduchovou pistolí na předehřáté předměty).\*)

Oba tyto způsoby lze aplikovat také v elektrostatickém poli, které zlepšuje ulpívání prášku na předmětu, na němž je elektrický náboj.

Vzniklé povlaky mohou být podle druhu použitého prášku měkké, elastické nebo tvrdé. Povlak nanesený v jedné operaci má lepší vlastnosti než několik vrstev nátěrových hmot.

### 10.2.2. Chemické pokovování

Chemické pokovování (též nazývané bezproudové pokovování) spočívá ve vytváření kovového povlaku z roztoku soli povlakového kovu působením redukčního činidla. Vytvořené vrstvy kovu bývají velmi tenké a rovnoměrně rozložené po celém povrchu nezávisle na tvaru. Takto lze pokovovat kovové i nekovové součásti (např. plasty, sklo, keramiku, kůži), jejich povrch musí být předem odmaštěn, někdy i mořen.

Chemicky (bez použití elektrického proudu) lze mědit, niklovat, chromovat, zinkovat, cínovat a stříbřit. Uvedme alespoň některé postupy.

#### Mědění

Měď se chemicky vylučuje velmi snadno na železe a jeho slitinách. Použije se roztok 8 až 50 g modré skalice ( $\text{CuSO}_4$ ) a 8 až 50 g kyseliny sírové v 1 000 ml vody. Železo vytěsňuje ušlechtlejší měď z roztoku, a ta se usazuje na povrchu železné (ocelové) součásti. Povlak se vytvoří již za několik sekund po ponoření. Poměděné součástky se vyjmou z roztoku, opláchnou vodou a osuší.

#### Stříbření kovů

Jednoduchou stříbricí lázeň lze připravit z 10 g dusičnanu stříbrného, 35 g kyanidu draselného (Pozor – JED!) a 1 000 ml vody. Pokovuje se při normální teplotě.

\*) U nás se vyrábí epoxidová pryskyřice s označením ChS Epoxy 3004, určená k pneumatickému naprašování. Nanáší se v podobě prášku na očištěné povrchy ohřáté na 80 °C stříkací pistolí pod tlakem asi 50 kPa. Tloušťka nanesené vrstvy je přibližně 0,5 mm. Po ukončení nástřiku se vrstva prášku natavením spojí a vytvrdí při teplotě 200 °C po dobu asi 7 min. Postupným zvyšováním teploty z 80 °C až na vytvrzovací teplotu se získá povlak, který je mimořádně odolný proti mechanickému poškození a nárazům.



V praxi často potřebujeme vytvořit vodivý povlak na nekovových materiálech nebo povlak se zrcadlovým leskem (např. na skle). Potřebná stříbrící lázeň obsahuje tři roztoky:

*Roztok A:* 24 g dusičnanu stříbrného, 36 g dusičnanu amonného, 1 000 ml destilované vody. Po rozpuštění se roztok doplní vodou na objem 1,5 l.

*Roztok B:* 38 g hydroxidu sodného, 1 000 ml destilované vody. Po rozpuštění se opět doplní na objem 1,5 l.

*Roztok C:* 25 g sacharózy, 3 g kyseliny vinné, 250 ml destilované vody. Roztok se vaří asi 20 min a pak se doplní vodou na objem 1 l.

Všechny složky se skladují odděleně (v temnu). Stříbrící lázeň se připraví smísením roztoků A a B, těsně před vlastním stříbřením se přidá roztok C.

Předměty určené k postříbření se nejprve dokonale očistí horkým roztokem sody a opláchnou tekoucí vodou. Pak se ponoří do čerstvě připravené stříbrící lázně s teplotou 20 °C a ponechají se v ní asi 10 min. Stříbření lze zopakovat dvakrát až třikrát po sobě, vždy však v čerstvé lázni. Postříbřené předměty se suší buď 24 h při normální teplotě, nebo 1 h při teplotě 50 °C.

Stříbrnou vrstvu nanesenou na sklo, porcelán nebo kameninu lze snadno odstranit kyselinou dusičnou.

### 10.2.3. Galvanické pokovování

Galvanické pokovování je v technické praxi nejrozšířenější způsob vytváření kovových povlaků na výrobcích. Jde o elektrolytické vylučování kovu z galvanické lázně, která je vlastně roztokem nebo taveninou vhodné soli příslušného kovu. Galvanickým pokovováním se získávají podstatně tlustší povlaky kovů než při chemickém pokovování. S ohledem na spotřebu elektrické energie je však tento způsob mnohem dražší.

Vany galvanických lázní bývají z ocelového plechu vyložené různým materiálem (PVC, olovo, sklo, pryž apod.) podle složení elektrolytu a podle potřebných pracovních teplot.

Základem zařízení pro galvanické pokovování je výkonný zdroj stejnosměrného proudu (polovodičový usměrňovač). Používá se malé napětí (2 až 12 V) a velký proud (100 A i více). Velikost proudu se řídí reostatem a kontroluje ampérmetrem. Součástky určené k pokovení (očistěné me-

chanicky nebo chemicky) se zavěsí do lázně pomocí měděných drátů nebo na speciální rámy; jsou přitom připojeny k zápornému pólu zdroje – ke katodě. Anody bývají obvykle z kovu, který se vylučuje (jsou ve tvaru desek nebo plechů), někdy se používají i anody grafitové nebo platinové.

Lázně bývají buď *kyselé* (vylučování Ni, Cu, Zn, Sn), nebo *alkalické kyanidové* (vylučování Cu, Cd, Zn, Ag, Au, mosazi aj.). Kontrolují se indikátorovými papírkami k zjišťování pH, popř. pH-metry.

Při galvanickém pokovování je třeba dodržovat bezpečnostní a hygienické předpisy. Většina lázní obsahuje silně leptající látky, takže je třeba používat pryžové ochranné pomůcky (rukavice, zástěry, obuv). Některé složky lázní jsou prudké jedy, a mohou s nimi proto pracovat jen kvalifikované osoby.

*Galvanické mědění.* Měděné povlaky se většinou používají jen jako mezivrstva pro další elektrolytické pokovování (niklování, chromování, cínování). Lze vytvářet matné nebo lesklé povlaky. Například k vytvoření matných měděných povlaků je zapotřebí lázeň složená ze síranu měďnatého (160 až 230 g/l) a kyseliny sírové (60 až 78 g/l) ve vodném roztoku. Pracuje se při normální teplotě, hustota proudu je 200 až 600 A · m<sup>-2</sup>.

*Galvanické niklování.* Niklové povlaky se v technické praxi nejčastěji využívají k pokrývání mědi, mosazi, oceli, zinku a litiny, a to buď jako ochrana proti korozi, nebo pro ozdobné účely. Povlaky mohou být matné, pololesklé nebo lesklé. Niklovací lázně se připravují podle osvědčených receptur.

*Galvanické chromování.* Chromování je jeden z nejrozšířenějších druhů pokovování. Chromové povlaky mají vynikající vlastnosti: velkou odolnost proti korozi, odolnost proti mechanickému opotřebení a velkou odrazivost světla. Používají se na niklové, měděné, mosazné nebo zinkové podklady jako ochrana proti korozi, dále na ochranu proti opotřebení a také pro ozdobné účely. Chromováním lze vytvořit matné povlaky, tvrdé povlaky nebo dekorativní povlaky. Jejich kvalita se řídí složením galvanické lázně a velikostí hustoty proudu.

*Galvanické stříbření.* Použití stříbrných povlaků v elektrotechnice bývá velice časté. Připomeňme např. stříbření kontaktů, vytváření vodivých ploch na izolačních materiálech, stříbření povrchu vodičů vysokofrekvenčních obvodů atd. Stříbrné povlaky mají estetický vzhled a jsou dosti odolné proti korozi.

*Galvanické pokovování nekovových materiálů.* V technické praxi je často zapotřebí galvanicky pokovovat předměty ze skla, keramiky nebo plastů.



V první fázi je třeba vytvořit vodivou vrstvu na nevodiči; pak je možné zhotovit povlak galvanickým pokovováním. Vodivá vrstva se vytváří chemickým stříbřením nebo měděním.

#### 10.2.4. Mechanické způsoby pokovování

Mechanickými způsoby lze vytvořit kovové povlaky libovolné tloušťky a lze přitom použít i takové kovy a slitiny, které není možné nanášet galvanicky. Povlaky kovů se nanášejí ponořením do taveniny, žárovým stříkáním, plátováním nebo difúzí.

*Pokovování v tavenině.* Takto lze upravovat povrch jen takových kovů, které s roztaveným kovem netvoří eutektickou slitinu s nižším bodem tání, aby nebezpečilo, že se část předmětu odtaví nebo zdeformuje. Příkladem je pozinkování ocelových drátů nebo pocínování měděných či ocelových drátů.

*Žárové stříkání (metalizace).* Způsob se využívá k nanášení kovových povlaků na povrch kovových i nekovových předmětů. K žárovému stříkání je vhodný jakýkoliv kov, jehož bod tání je nižší než 1 600 °C (např. hliník – alumetování). Nanáší se speciální (metalizační) pistolí.

*Plátování.* Je to obkládání základních polotovarů (plechů, pásů, trubek) vrstvou jiného kovu za účelem dosažení výhodnějších vlastností povrchu (viz. odst. 5.4.3). Plátovat lze válcováním za tepla, pájením, navařováním a tlakem. Mezi základním materiálem a naplátovanou vrstvou přitom dojde k difúzi, a tím k jejich pevnému spojení.

*Difúzní pokovování.* Je to difúzní sycení povrchu ocelového předmětu jiným kovem, zpravidla za účelem získání korozní odolnosti i za vyšších teplot. Podle použitého kovu rozeznáváme difúzní zinkování (šerardování), difúzní hliníkování (alitování), difúzní chromování (inchromování), chromhliníkování, křemíkování (siliciování) atd.