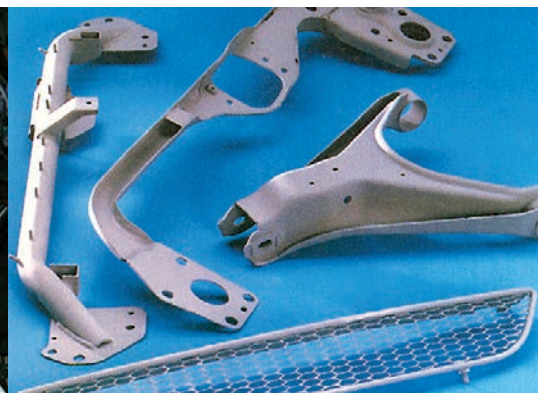
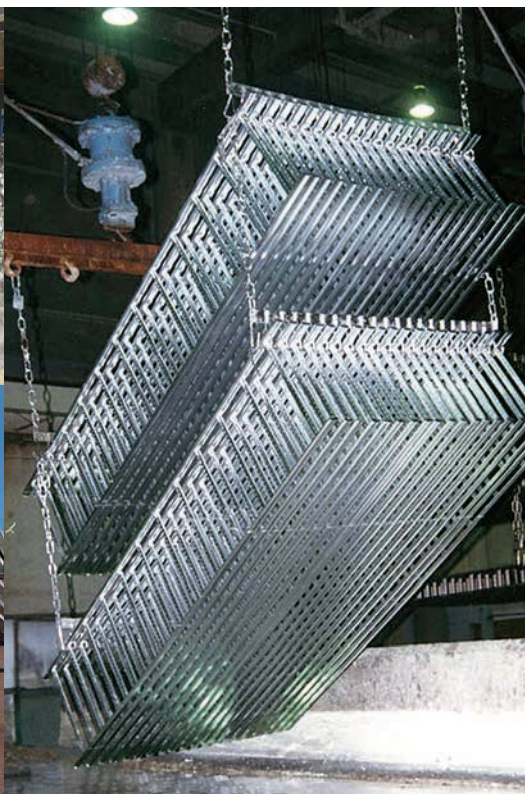
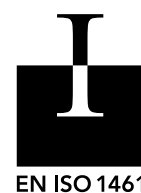




PŘÍRUČKA ŽÁROVÉHO ZINKOVÁNÍ



Předmluva

Tato příručka byla vydána poprvé v roce 1968 pod názvem Žárové zinkování jako protikorozní ochrana. Vyvolala veliký zájem. Byla od té doby čtyřikrát přepracována a vyšla v sedmi různých jazycích.

Toto páté vydání se snaží zohlednit technický vývoj v několika posledních letech. Základem je stále práce Runeho Thomase a Torgnyho Wallina, která je doplněna a rozšířena o zinek v životním prostředí, o deklaraci životního prostředí, o žárově zinkované ocelové výztuže v betonu a také o některé účinky nových legur v zinkové tavenině.

Příručka i nadále staví na výsledcích výzkumu, zkušenostech a informacích odborníků.

Věříme, že tato kniha, tak jako její předchozí vydání, poslouží k užitku a radosti těch, kteří se prakticky zabývají problémem ochrany proti korozi napadení oceli.

Stockholm, duben 2005

Hans Eriksson a Annikki Hirnová

Slovo úvodem

Posláním Asociace českých a slovenských zinkoven (AČSZ) je zvyšování informovanosti a vzdělanosti v oblasti technologie žárového zinkování. Zástupci AČSZ se snaží technické odborné veřejnosti a všem uživatelům tohoto druhu protikorozní ochrany usnadnit jejich každodenní práci a nabízí jim pomoc formou odborných informací, které jsou nezbytné při řešení protikorozní ochrany kovů.

Kromě konferencí, seminářů, školení a exkurzí AČSZ připravuje a distribuuje také tištěné studijní materiály, ze kterých lze čerpat veškeré potřebné informace o žárovém zinkování. Do rukou se Vám dostala jedna z těchto odborných publikací – „Příručka žárového

zinkování“, která ve svém úvodu definuje korozi a její příčiny, doporučuje způsoby ochrany proti ní a v další části se věnuje žárovému zinkování. Publikace je šestým aktualizovaným vydáním příručky, kterou vypracovala skandinávská asociace zinkoven Nordisk Försämringsförening. Toto vydání se již striktně nedrží švédského originálu, ale údaje týkající se Skandinávie nahrazuje aktuálními údaji o České republice a Slovenské republice.

Ostrava, duben 2023

Asociace českých a slovenských zinkoven, z.s.

Titulní foto:

Komenského most v Jaroměřích – vítěz

Czech and Slovak Galvanizing Award 2018

(foto: Tomáš Vojtíšek)

Obsah

1. Koroze a protikorozní ochrana	4	7. Provedení a výroba konstrukce	24
2. Volba protikorozní ochrany	6	7.1 Bezpečnostní požadavky	
3. Způsoby zinkování	9	7.2 Kvalitativní hlediska	
3.1 Žárové zinkování		7.2.1 Možnosti manipulace	
3.2 Elektrolytické (galvanické) zinkování		7.2.2 Vzájemná pohyblivost	
3.3 Žárové stříkání (metalizace)		7.2.3 Pozor na konstrukce, které se mohou deformovat	
3.4 Sherardizace		7.2.4 Pozor na různé typy povrchů a materiálů	
3.5 Mechanické zinkování		7.2.5 Pozor na uzavření kyselin	
3.6 Neelektrolyticky nanášené mikrolamelové povlaky zinku		7.2.6 Pozor na vznik kapes	
3.7 Nátěrové hmoty s vysokým obsahem zinku		7.2.7 Výrobky se závitem	
4. Žárové zinkování	12	7.2.8 Značení	
4.1 Výhody a nevýhody žárového zinkování		7.2.9 Svařování	
4.2 Provedení		7.2.10 Další obecné zásady	
4.2.1 Žárové zinkování drobných dílů		8. Normy	30
4.2.2 Žárové zinkování drátů a trubek		9. Kvalita – kontrola, zkoušky a opravy	31
4.2.3 Žárové zinkování plechového pásu		9.1 Tloušťka	
5. Reakce mezi železem a zinkem	16	9.2 Vzhled	
5.1 Neuklidněné nebo hliníkem uklidněné oceli		9.3 Přílnavost	
5.2 Oceli uklidněné křemíkem		9.4 Opatření při vadách	
5.2.1 Sandelinovy oceli		9.5 Opatření při poškození – opravy	
5.2.2 Sebistyho oceli		10. Koroze zinkových povlaků	33
5.3 Vliv dalších legujících prvků		10.1 Atmosférická koroze	
5.4 Vliv dalších faktorů		10.2 Koroze ve vodě	
5.5 Volba oceli		10.3 Koroze v půdě	
5.6 Reakce železo – zinek při zinkování pásu		10.4 Galvanická koroze	
6. Pevnost žárově zinkované oceli	21	10.4.1 Katodická ochrana zinkovým povlakem	
6.1 Pevnost v tahu, vrubová houževnatost a tvárnost		10.4.2 Zinkové povlaky v kontaktu s jinými kovy než ocelí	
6.2 Napětí po svařování		10.5 Žárově zinkovaný materiál v kontaktu se stavebním materiálem	
6.3 Únavová pevnost		10.5.1 Protikorozní ochranná vrstva pro armovací ocel	
6.4 Křehkost, praskání		10.5.2 Žárově zinkované armatury v prostředí chloridů	
6.5 Žárově zinkované zboží a požár		10.6 Balení a transport žárově zinkované oceli	
6.6 Žárově zinkované zboží vystavené zvýšené teplotě			
6.7 Odolnost zinkového povlaku proti abrazi			

11. Nátěry žárově zinkované oceli – duplexní systém	41	15. Zinek v životním prostředí.....	50
11.1 Životnost duplexního systému		15.1 Obecně	
11.2 Čerstvě pozinkované lesklé povrchy		15.2 Zinek v organismech	
11.3 Exponované matné povrchy		15.3 Oblasti použití	
11.4 Čištění a předúprava		15.4 Výroba a spotřeba energie	
11.5 Volba nátěrového systému		15.5 Recyklace	
		15.6 Emise zinku	
12. Obloukové svařování pozinkované oceli – bodové svařování	45	16. Deklarace ochrany životního prostředí ...	53
12.1 Rozstřík, průvar, póry a praskavost		16.1 Ochrana životního prostředí v oboru	
12.2 Volba elektrod		16.2 Produkty	
12.3 Exhalace		16.3 Balení a doprava	
12.3.1 Škodlivost exhalací oxidu zinečnatého		16.4 Recyklace materiálu a spotřeba energie	
12.3.2 Ochrana před exhalacemi ze svařování		16.5 Výroba	
12.4 Bodové svařování		16.5.1 Emise do ovzduší	
		16.5.2 Emise do vody	
13. Šroubové spoje	47	16.5.3 Využití energie	
13.1 Spojovací materiál		16.5.4 Hluk a zdraví	
13.2 Kontaktní plochy		16.6 Ekologický profil	
13.3 Vrtání otvorů		16.7 Zinek v životním prostředí	
13.4 Montáž		17. Literatura.....	56
14. Ekonomika žárového zinkování	48		
14.1 Vstupní náklady			
14.2 Náklady na údržbu			
14.3 Náklady po dobu životnosti			

1. Koroze a protikorozní ochrana obecně

Korozní agresivita atmosfér v průmyslově vyspělých zemích od konce 19. století rostla se znečištěním ovzduší, maxima dosahovala v padesátých a šedesátých letech 20. století. V letech 1985–1995 se postupně environmentální podmínky – koncentrace a charakter znečištění ovzduší – v Evropě změnily v důsledku environmentální politiky a ekonomických změn v různých zemích. Především se výrazně snížila koncentrace SO_2 . Současně s tímto snížením se snížily na 20 atmosférických stanicích v Evropě roční korozní úbytky zinku z průměrných hodnot 13 g.m^{-2} na 1 g.m^{-2} . Toto snížení korozních úbytků bylo způsobeno snížením koncentrace SO_2 v ovzduší společně se snížením kyselosti atmosférických srážek (obr. 1-2) (28, 29, 30).



Obr. 1-1 – Nalevo je korodující svodidlo opatřené nátěrem. Pro porovnání je vpravo svodidlo žárově zinkované.

Koroze je podle normy ČSN EN ISO 8044 Koroze kovů a slitin – Slovník fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami. Škody na korodujícím předmětu se nazývají primární škody, další škody, které jsou důsledkem primární koroze, se nazývají sekundární škody. Často jsou to právě sekundární škody, které pro jednotlivce nebo společnost představují největší náklady.

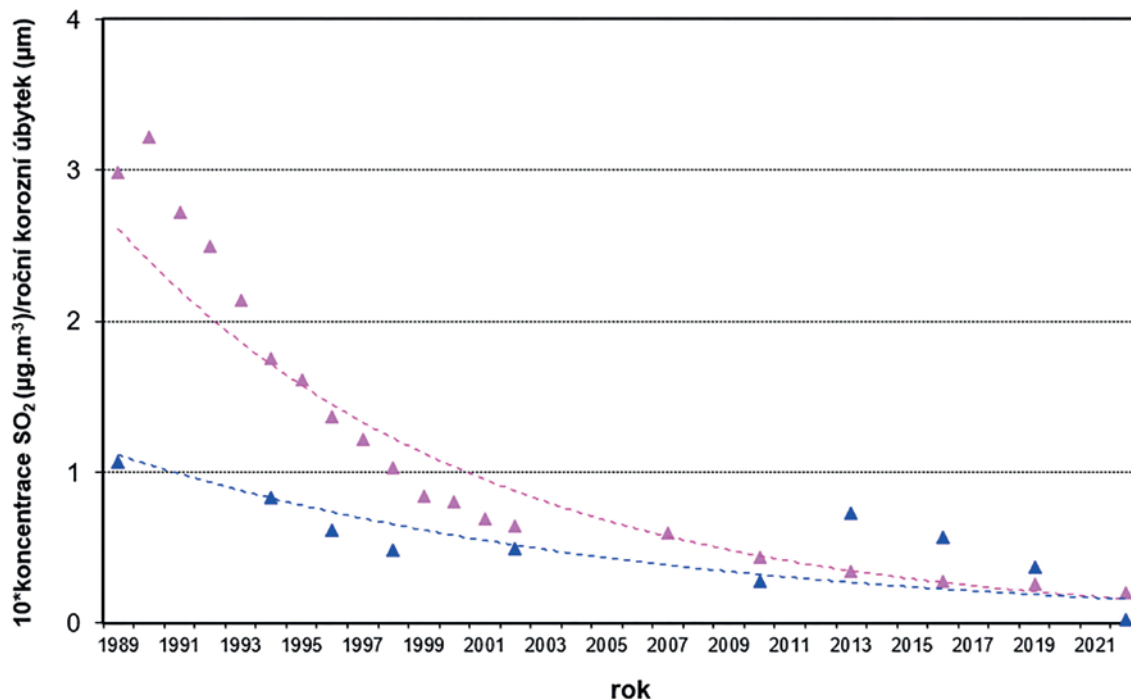
V širším smyslu v průběhu času korodují nebo se rozkládají na stabilní sloučeniny všechny materiály s výjimkou vzácných kovů.

Při získávání kovů z rud se dodává energie. Kov proto reprezentuje energeticky vyšší stav než ruda. Při korozním ději se kov snaží tuto energii uvolnit a přejít do stabilního přírodního stavu, který už jednou měl. Korozní produkty proto často připomínají ty sloučeniny, ze kterých byl kov získán.

Nicméně vyšší energetický stav sám nestačí k tomu, aby začala koroze. Aby kov začal korodovat, je v běžném prostředí potřebný přístup kyslíku a vody (relativní vlhkost $> 60 \%$). V zemích střední Evropy tyto podmínky existují po většinu roku, takže korozní děje mohou probíhat.

Ocel je v současné době bezkonkurenčně nejpoužívanější kov. Její jedinou velkou nevýhodou je příliš vysoká korozní rychlost v mnoha běžných prostředích. Chránit výrobky z oceli nebo ocelové konstrukce proti korozi je proto ekonomicky velmi důležité. Ocel je možné chránit proti korozi následujícími způsoby:

- **Legováním** oceli dalšími základními prvky. Přídavkem chromu ($> 13 \%$) dostaneme korozivzdornou ocel, která dobře odolává atmosférické korozi. Přídavkem niklu nebo molybdenu může být korozní odolnost ještě zvýšena. Většina slitin je v porovnání s nelegovanými nebo nízkolegovanými ocelmi výrazně dražší. Důležité je také ověřit si, zda jsou slitiny skutečně korozně odolné v prostředí, kterému budou vystaveny.
- **Změnou korozního prostředí** – snížením relativní vlhkosti (odvlhčením), vysušením, zvýšením teploty nebo přídavkem inhibitorů. Poslední z uvedených způsobů je nejběžnější v roztocích. Nevýhodou je, že se tyto metody dají použít pouze v omezeném rozsahu.
- **Katodickou ochranou** – použitím tzv. obětované anody bez anebo s použitím vloženého stejnosměrného proudu. Metoda s obětovanou anodou využívá princip galvanické koroze. Kovy se vědomě uspořádají tak, aby jeden mohl korodovat, a tím chránit druhý kov. Katodická ochrana je možná jedině za přítomnosti elektrolytu, například



Obr. 1-2 – Koncentrace oxidu siřičitého a korozní úbytky zinku v Evropě v letech 1988–2022

vody nebo vlhké půdy. Metoda se používá k ochraně lodních trupů, pobřežních zařízení, vrtných plošin, nádrží, potrubních vedení atd. Nejběžnější materiál pro obětované anody je zinek nebo hořčík, případně jejich slitiny.

- **Ochranným povlakem** z anorganického nebo organického materiálu, aby se zabránilo přístupu vlhkosti a kyslíku k povrchu oceli. To je nejběžnější způsob protikoroze ochrany. Těmito anorganickými materiály mohou být kovy, slitiny nebo smalty. Organickými povlaky mohou být nátěrové hmoty, bitumenové přípravky nebo plasty. Často se s velmi dobrým výsledkem kombinují anorganické a organické materiály, například nátěrová hmota (NH) nebo plast na zinkovém povlaku.

Kovový povlak na oceli je technicky možné vytvořit z většiny kovů a slitin, a tím zajistit korozní odolnost, odolnost vůči abrazi nebo vytvořit požadovaný dekorativní efekt. Mnohé kovy jsou však drahé, případně je lze obtížně vyloučit na povrchu oceli. Mohou být nevhodné kvůli své vlastní vysoké korozi, nebo proto, že jsou ušlechtlejší než ocel. Cílem je použití kovu, který se snadno nanáší, poskytuje dobrou korozní odolnost a je akceptovatelný z hlediska životního prostředí.

Z pohledu výše uvedených kritérií připadají prakticky v úvahu pouze zinek a hliník. Kadmium se dříve používalo v určitém rozsahu hlavně v přímořském prostředí, avšak cena je poměrně vysoká a také se jedná o kov ekologicky nevhodný.

Hliník je zajímavý z hlediska ceny a korozní odolnosti ve většině prostředí. Hliník se však velmi obtížně nanáší, protože se snadno oxiduje kyslíkem. Znamená to, že vodné elektrolyty se nedají použít a při pokovení je nutné používat ochrannou atmosféru, aby se zabránilo oxidaci. Proto se hliník využívá hlavně v kombinaci se zinkem při pokovení plechů (Aluzink – 55 % Al, 43,5 % Zn, 1,5 % Si) nebo drátů (Galfan – 5 % Al, 95 % Zn). V určitém rozsahu se využívá žárové stříkání hliníkem nebo slitinou hliníku se zinkem (Zinakor).

Pro korozní ochranu kovů a slitin a možnosti jejich kombinací je dobrým vodítkem tabulka na obr. 10-8 se schématem elektrochemických potenciálů. Méně ušlechtilý kov chrání ušlechtlejší vlivem katodické ochrany. Rozsáhlejší výklad různých otázek, týkajících se koroze a protikoroze ochrany, zde neuvádíme. Zájemci o tuto problematiku mohou nalézt další informace například v literatuře (1, 2, 3).

2. Volba protikoroziční ochrany

Při volbě protikoroziční ochrany ocelových součástí nebo konstrukcí je třeba brát v úvahu mnoho technických faktorů. Je nutné zmapovat prostředí, kde budou objekt či konstrukce umístěny, stejně tak i zatížení vznikající při dopravě, skladování nebo montáži. To platí zvláště pro konstrukce, které se musí dopravovat na velkou vzdálenost, například přes moře. Provedení konstrukce a její velikost i snadná kontrola ochranného povlaku jsou další významné faktory.

Je důležité provést dobrý rozbor ekonomických dopadů pro několik alternativ protikoroziční ochrany. Zvláště důležité je, aby základem pro posouzení nebyly pouze vstupní náklady. V ekonomickém rozboru musí být jako základ zvoleny náklady v průběhu životnosti, tzn. celkové náklady po dobu funkčnosti nebo užití celé konstrukce.

Celkové náklady zahrnují kromě pořizovacích nákladů také náklady na balení, dopravu, opravy poškození způsobených transportem a montáží, stejně jako náklady na údržbu a ochranu životního prostředí. Při požadované životnosti 30 let je potřeba dva- až třikrát provést údržbu protikorozičního systému konstrukce. Ta je značně dražší než pořizovací náklady, pokud se zvolí povrchová úprava nevyžadující údržbu. Posouzení celkových nákladů, vynaložených po dobu životnosti, poskytne zpravidla zcela jiný obrázek než jen prosté pořizovací náklady.

Pro definici aktuální koroziční agresivity je vhodné použít platné ISO a EN normy. Jako podklad pro volbu protikoroziční ochrany poslouží daná koroziční agresivita prostředí s přihlédnutím k místním vlivům. Je třeba poukázat na to, že stupně koroziční agresivity podle obrázku 2-1 jsou vztaženy na prostředí užití výrobku. Prostředí při výrobě, dopravě a montáži mohou přinést změny v koroziční agresivitě, a mohou tak ovlivnit i volbu protikoroziční ochrany.

Klasifikace koroziční agresivity atmosféry vychází z ročních korozičních úbytků oceli a zinku (viz ČSN EN ISO 9223) a stupeň koroziční agresivity lze odvodit i z ročních hodnot environmentálních parametrů (výpočet z rovnice). Součástí normy je i popis charakteristických prostředí (Příloha C normy ČSN EN ISO 9223) – viz obr. 2-2. Jako vodítko může sloužit obr. 2-3 znázorňující porovnání vlastností různých typů povlaků. Protože se protikoroziční ochrana v prostředích C3 až C5 zpravidla provádí nátěry nebo žárovým zinkováním, jsou na obr. 2-4 pro porovnání uvedeny technické parametry těchto metod.

Porovnání jsou přirozeně obecná, protože nátěrové hmoty a plasty se vyskytují v nesčetných variantách, často s velmi odlišnými vlastnostmi. Protože se podmínky a požadavky stále mění, je porovnání aktuálních parametrů užitečné.

Stupeň koroziční agresivity	Koroziční úbytek kovů (r_{corr})			
	uhlíková ocel		zinek	
	Úbytek hmotnosti [g/m ²]	Úbytek tloušťky [μm]	Úbytek hmotnosti [g/m ²]	Úbytek tloušťky [μm]
C1	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2	> 10 až 200	> 1,3 až 25	> 0,7 až 5	> 0,1 až 0,7
C3	> 200 až 400	> 25 až 50	> 5 až 15	> 0,7 až 2,1
C4	> 400 až 650	> 50 až 80	> 15 až 30	> 2,1 až 4,2
C5	> 650 až 1 500	> 80 až 200	> 30 až 60	> 4,2 až 8,4
CX	1 500 < r_{corr} ≤ 5 500	200 < r_{corr} ≤ 700	60 < r_{corr} ≤ 180	8,4 < r_{corr} ≤ 25

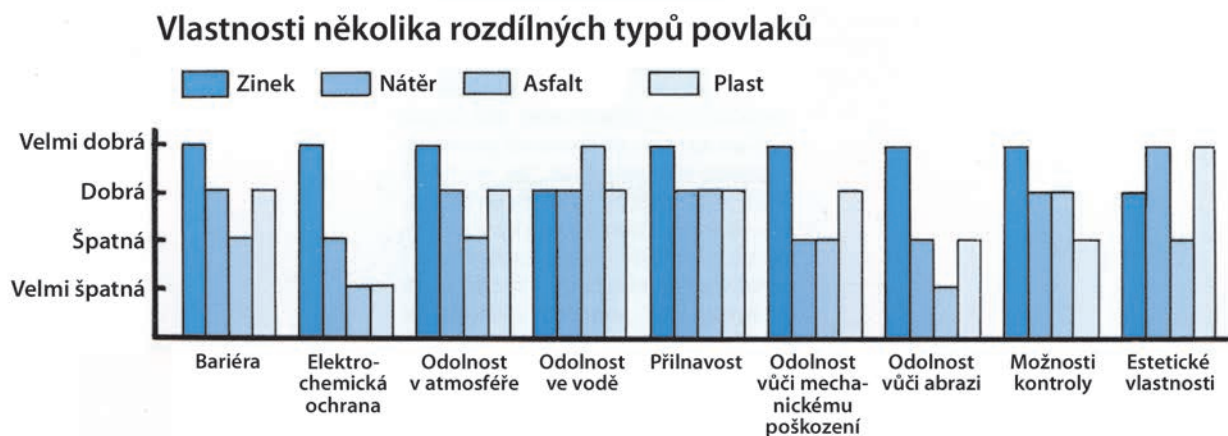
Obr. 2-1 – Stupně koroziční agresivity podle ČSN EN ISO 9223.

V této souvislosti je třeba poznamenat, že zinek a nátěrová hmota se sice používají ke stejnému účelu – ochraně proti koroznímu napadení, avšak působí zcela jinak. Zinkový povlak koroduje na povrchu oceli a poskytuje katodickou ochranu poškozeným místům v povlaku. Na rozhraní mezi zinkovým povlakem a povrchem oceli nedochází ke vzniku koroze.

Naproti tomu nátěrové povlaky jsou poškozovány tím, že se korozní produkty vytvářejí na rozhraní mezi nátěrovou hmotou a ocelí. Povlaky nátěrových hmot neposkytují katodickou ochranu a koroze může postupovat dále pod povlakem.

Stupeň korozní agresivity	Typická prostředí (příklady)	
	Vnitřní prostředí	Vnější prostředí
C1	Vytápěné prostory s nízkou relativní vlhkostí a zanedbatelným znečištěním, např. kanceláře, školy, muzea	Suché nebo studené klimatické oblasti s velmi nízkým znečištěním a dobrou ovlhčením, např. některé pouště, střední Arktika /Antarktika
C2	Nevytápěné prostory s proměnlivou teplotou a relativní vlhkostí. Nízká četnost výskytu kondenzace a nízké znečištění, např. sklady, sportovní haly	Mírná klimatická oblast, atmosféry s nízkým znečištěním ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), např. venkovské oblasti, malá města; Suché nebo studené klimatické oblasti s nízkým znečištěním a dobrou ovlhčením, např. pouště, sub-arktické oblasti
C3	Prostory se střední četností výskytu kondenzace a se středním znečištěním z výrobních procesů, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny	Mírná klimatická oblast, atmosféry se středním znečištěním ($\text{SO}_2: 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ až $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nebo malým vlivem chloridů, např. městské oblasti, přímořské oblasti s malým spadem chloridů
C4	Prostory s vysokou četností výskytu kondenzace a vysokým znečištěním z výrobních procesů, např. průmyslové výrobní provozy, plavecké bazény	Subtropické a tropické oblasti, atmosféry s nízkým znečištěním
C5	Prostory s velmi vysokým výskytem kondenzace a/nebo vysokým znečištěním z výrobních procesů, např. důlní prostory, podzemní výrobní prostory, neprovětrávané přístřešky v tropických vlhkých oblastech	Mírná klimatická oblast, atmosféry s vysokým znečištěním ($\text{SO}_2: 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ až $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nebo značným vlivem chloridů, např. znečištěné městské oblasti, přímořské oblasti mimo zóny s postřikem slanou vodou, silný vliv solí rozmrazovacích prostředků; Subtropické a tropické oblasti, atmosféry se středním znečištěním
CX	Prostory s téměř trvalým výskytem kondenzace a/nebo vysokým znečištěním z výrobních procesů, např. neprovětrávané přístřešky s průnikem venkovního znečištění včetně chloridů ze vzduchu a korozních částic	Mírná a subtropická klimatická oblast, atmosféry s velmi vysokým znečištěním ($\text{SO}_2: 90$ až $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a/nebo se významným vlivem chloridů, např. průmyslové oblasti, přímořské oblasti, přístřešky na pobřeží
		Subtropické a tropické oblasti (velmi dlouhodobá vlhkost), atmosféry s velmi vysokým znečištěním (SO_2 : nad $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) včetně doprovodného a průmyslového znečištění a/nebo se silným vlivem chloridů, např. rozsáhlé průmyslové oblasti, přímořské oblasti a oblasti v pobřežních vodách, zóny s postřikem slanou vodou

Obr. 2-2 – Typické příklady korozních prostředí



Obr. 2-3 – Porovnání vlastností různých typů povlaků.

Faktor	Nátěrový systém	Žárové zinkování
Předúprava	Normy předepisují otryskání na Sa 2½. Nedokonalé očištění může snížit životnost systému o 60 až 80 %. Kontrola předúpravy má rozhodující význam.	Moření v kyselině je nutnou součástí procesu. Pokud není povrch čistý, nevytvoří se povlak. Kontrola předúpravy není nutná.
Technologické proměnné	Přesná formulace NH, správné promíchání a ředění jsou velmi významné faktory.	Malé úpravy mají malý nebo žádný vliv na kvalitu zinkového povlaku.
Podmínky provedení		
1. Teplota	Je obtížné dosáhnout dobrých výsledků, pokud je teplota vzduchu nižší než +10 °C nebo vyšší než +30 °C. Plochy vystavené slunci mohou snadno dosáhnout mnohem vyšší teploty.	Teplota vzduchu a běžné odchylky procesní teploty nemají vliv.
2. Vlhkost	Rosa a povrchová kondenzace brání provedení nátěru, který by se neměl aplikovat, jestliže je vzdušná vlhkost vyšší než 80 %.	Nemá vliv.
3. Znečištění vzduchu	Páry, kouř, plyny, prach a další nečistoty zhoršují kvalitu nátěru.	Nemá vliv.
Typ oceli	Nemá vliv.	Reakce mezi zinkem a ocelí poskytuje určitou minimální normalizovanou tloušťku vrstvy. Zvýšený obsah křemíku v oceli a její zvýšená tloušťka stěny dávají větší tloušťku povlaku.
Vlastnosti povlaku		
1. Tloušťka	Má pro životnost velký význam. Mění se s počtem vrstev a metodou nanášení. Kontrola tloušťky je důležitá pro každou vrstvu.	Reakcí mezi zinkem a ocelí vzniká vrstva povlaku, jejíž tloušťka splňuje normou dané minimální hodnoty. Zvýšený obsah křemíku v oceli a její zvýšená tloušťka stěny dávají větší tloušťku povlaku.
2. Přílnavost	Závisí na předúpravě, typu nátěrového systému, době mezi předúpravou a základním nátěrem a dobou vytvrzování mezi jednotlivými vrstvami.	Zinkové povlaky se na ocel váží metalurgicky.
3. Rovnoměrnost	Vrstva nátěru se ztenčuje na ostrých hranách a rozích. Otvory a malé spáry zůstanou zpravidla bez povlaku. Špatně přístupné části mohou mít tenčí povlak.	Kompletní pokrytí ponorem v roztaveném zinku. Povlak je na ostrých hranách zpravidla o 50 % tlustší.
Doba vytvrzování	Může se měnit v závislosti na typu nátěrového systému a podmínkách nanášení od několika hodin až po několik dní pro dosažení manipulovatelnosti a po několik týdnů pro výslednou tvrdost.	Povlak žárového zinku nevyžaduje žádnou dobu na vytvrzení.
Deformace	Žádné.	Žárové zinkování je termický proces, který může vést ke změnám tvaru.
Kontrola	Je třeba provádět po předúpravě a každém dalším kroku výroby, aby byla zajištěna dobrá kvalita. Tloušťky vrstev se musí kontrolovat v průběhu zhotovení a na hotovém zboží.	Vizuální kontrola včetně měření tloušťky povlaku po jeho zhotovení.
Riziko poškození při dopravě a manipulaci	Velké. Může vyvolat nutnost opravy základního i krycího nátěru.	Malé. Povlak má velkou mechanickou odolnost. Případná poškození se opravují žárovým stříkáním nebo nátěrem barvou s vysokým obsahem zinku.

Obr. 2-4 – Porovnání různých procesních parametrů a jejich vliv na výsledek u nátěrového systému a žárového zinkování.

3. Způsoby zinkování

3.1 Žárové zinkování

Ocelové součásti očištěné od mastnot, okují, rzi a jiných nečistot se noří do roztaveného zinku. Na povrchu oceli se vytváří povlak složený z několika vrstev slitinových Fe-Zn fází a vnější vrstvou čistého zinku. Metoda se nejvíce používá pro dlouhodobou protikorozi ochranu a je jí věnována kapitola 4.

3.2 Elektrolytické (galvanické) zinkování

Ocelový povrch se nejprve odmastí a pak očistí od okují a rzi mořením. Často se spojuje předúprava s elektrolytickým odmašťováním. Zboží se zavěsí do vodného roztoku zinečnaté soli (elektrolyt) a zapojí se jako katoda ke zdroji stejnosměrného proudu. Jako anoda se zapojí desky z čistého zinku (elektrolytický zinek 99,995 %). Elektrolyt může být kyselý, neutrální nebo alkalický a podle toho se volí druh zinečnaté soli.

Jakmile se zapojí proud, rozpouští se zinek z anody a ve formě zinečnatých iontů putuje ke katodě, kde se vylučuje na povrchu zboží. Proudový výtěžek, tj. velikost podílu proudu využitého na vyloučení zinku, má velký význam u oceli, která je citlivá na vodíkovou křehkost. Je to tím, že nevyužitý proud způsobí hlavně vyloučení vodíku.

Větší předměty se běžně zavěšují na přípravky (závěsy, háky atd.), zatímco menší předměty (hromadné zboží – šrouby, matice, kování atd.) se pokovují v bubnech. Přípravky nebo bubny se pohybují mezi různými lázněmi – často s pomocí programovatelných robotů.

Vytvořená vrstva zinku má velmi jemnozrnnou strukturu a na povrchu oceli drží pouze mechanicky (obr. 3-1). Normalizované tloušťky povlaků jsou 3, 5, 8, 12 nebo 20 mikrometrů (μm). Běžně se používá 5 až 8 μm . Tenčí povlaky se používají především na hromadném zboží, zatímco tlustší povlaky ($> 20 \mu\text{m}$) se zpravidla dají vytvořit pouze na zboží s jednoduchou geometrií, například na drátu. Pro tloušťky větší než 15 μm je často ekonomičtější zboží pozinkovat žárově. Je možné pozorovat, že tloušť-



Obr. 3-1 – Řez elektrolyticky naneseným povlakem zinku.

ka povlaku při elektrolytickém zinkování se často na povrchu součásti mění – v závislosti na jejím tvaru a umístění anod. Pomocné anody je nutné použít, aby se povlak vytvořil i v zastíněných místech.

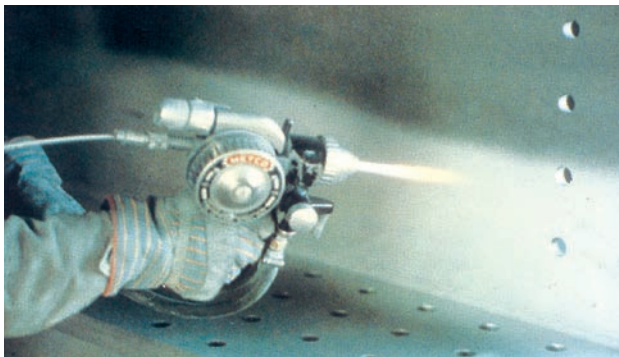
Povrch zinku je velmi hladký, se „stříbřitým“ kovovým leskem. Přídavkem tzv. leskutvorných přísad je možné získat vysoce lesklé povlaky. Elektrolyticky pozinkované předměty se běžně chromátují, aby byl povrch zinku chráněn během skladování a dopravy. Chromátové vrstvy jsou bezbarvé nebo modré, žluté či zelené podle jejich tloušťky nebo složení chromátovací lázně (může obsahovat trojmocný nebo šestimocný chrom; použití šestimocného chromu se omezuje a mělo by postupně zcela vymizet).

Elektrolyticky pozinkované předměty se nedoporučuje používat ve venkovním prostředí s výjimkou velmi krátkých expozic. Měly by se používat pouze předměty zinkované žárově.

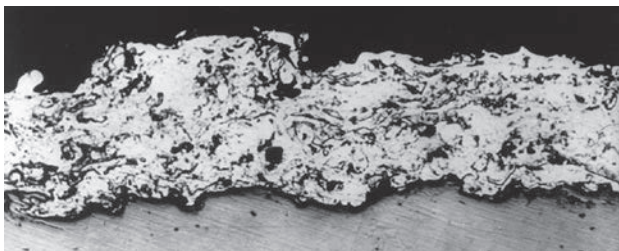
Pro další informace o elektrolytickém zinkování kontaktujte ČSPÚ – Českou společnost pro povrchové úpravy (www.cspu.cz).

3.3 Žárové stříkání (metalizace)

Povrch oceli se pečlivě očistí tryskáním – na minimálně Sa 2 ½ podle platné normy. Zinek ve formě drátu nebo prášku se přivádí do pistole a taví se v plynovém hořáku nebo elektrickém oblouku (obr. 3-2). Roztavený zinek ve formě malých kapek je pomocí tlakového vzduchu vrhán na povrch oceli. Přílnavost povlaku je čistě mechanická a vrstva poněkud porézní, s drsným povrchem. Povrch se dobře hodí pro následný organický povlak, který dále zvyšuje korozní odolnost (obr. 3-3).



Obr. 3-2 – Žárové stříkání zinkem.



Obr. 3-3 – Řez žárově stříkaným povlakem zinku.

Tloušťka povlaku se může pohybovat od 100 μm do 300 μm . Metoda je vhodná pro větší objekty s nepříliš komplikovaným tvarem. Je například obtížné povlakovat roury zevnitř. Žárové stříkání je třeba velmi vhodné pro opravy žárově zinkovaných předmětů poškozených svařováním nebo mechanickými účinky. Viz například platná norma (6).

3.4 Sherardizace

Předměty očištěné mořením nebo tryskáním se smísí se zinkovým prachem a pískem v bubnu, který se za otáčení zahřívá těsně pod teplotu tání zinku. V průběhu otáčení spolu reaguje železo a zinek a na povrchu oceli se tvoří jejich sloučeniny.

Sherardizace poskytuje relativně tenké povlaky (15 až 40 μm) s temně šedým až hnědošedým povrchem. Povlaky mají dobrou přilnavost a velmi rovnoměrnou tloušťku i na předmětech s velmi složitým tvarem. Metoda má přibližně stejnou oblast použití jako elektrolytické zinkování.

Specifikace povlaků je uvedena v ČSN EN ISO 14713-3. Technologie povrchové úpravy se používá omezeně.

3.5 Mechanické zinkování

Po odmaštění, odmoření a pomědění (vycementování mědi) se součásti nasypou do bubnu spolu se skleněnými kuličkami, zinkovým prachem a chemickými aktivátory. Součásti se omílají v bubnu a zinek se při tom pomocí skleněných kuliček navaluje na jejich povrch.

Tloušťka vytvořeného povlaku se reguluje množstvím přidaného zinku. Běžně se pohybuje kolem 10 až 15 μm , avšak mohou se vytvářet i tlustší povlaky. Jsou rovnoměrné i na dílech s komplikovanou geometrií. Povrch je poněkud matný.

Mechanické zinkování je vhodné pro ušlechtilé oceli s tvrdostí nad 40 HRC, kde u jiných metod hrozí vodíková křehkost.

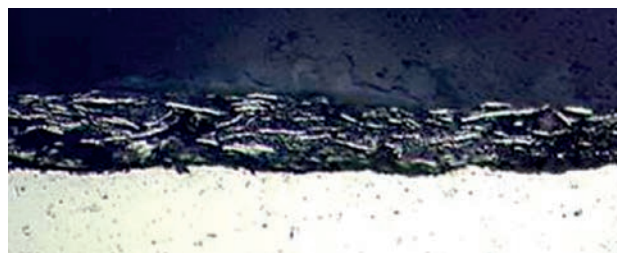
Vytvořené povlaky se vlastnostmi podobají elektrolyticky pozinkovaným. Specifikace povlaků je uvedena v ČSN EN ISO 12683, která je zavedena vyhlášením.

3.6 Elektrolyticky nanášené mikrolamelové povlaky zinku

Povlaky se zhotovují nanášením suspenzí obsahujících mikrolamely zinku nebo hliníku (cca 50–60 %), vhodného pojiva. Působením tepla dochází ke spojování mikrolamel a pojiva za vzniku povlaku. Tloušťka povlaku se pohybuje od 6 do 22 μm (obr. 3-4).

Používá se především pro drobný spojovací materiál. Povlak poskytuje katodickou ochranu. Tyto povlaky se dále doplňují organickým vrchním povlakem nebo anorganickým utěšňujícím povlakem. Některé povlaky lze kombinovat s vrstvami na bázi epoxyfenolických pojiv nebo silikon-lithium-oxidového polymeru.

Specifikace povlaků je uvedena v ČSN EN 13858 a pro spojovací součásti i v ČSN EN ISO 10683.



Obr. 3-4 – Řez mikrolamelovým povlakem.

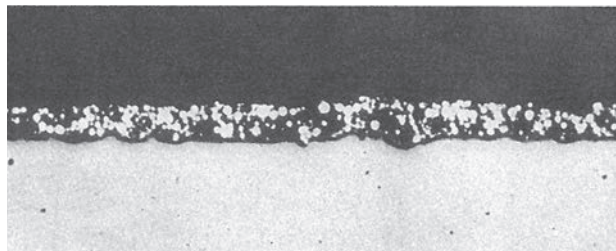
3.7 Nátěrové hmoty s vysokým obsahem zinku

Obsah zinku v nátěrových hmotách s vysokým obsahem není jednoznačně a jasně definován.

Nátěrová hmota je považována za NH s vysokým obsahem zinku, jestliže je obsah zinkového prachu mezi 65 až 69 % hmot. v nátěrové hmotě nebo je větší než 92 % hmot. v suchém nátěrovém filmu. Nátěrové hmoty obsahující zinkový prach mohou být formulovány na bázi organického nebo anorganického pojiva. Nátěrové hmoty s vysokým obsahem zinku se aplikují na čistý, suchý ocelový povrch stříkáním. Povrch by měl být otryskán na čistotu minimálně Sa 2½ podle normy ČSN EN ISO 8501-1. V případě oprav a jestliže není možné otryskávání, mělo by být k čištění použito ruční náradí a očištění musí být provedeno až do nepoškozené zinkové vrstvy.

Pro opravy je možné použít k aplikaci štětce.

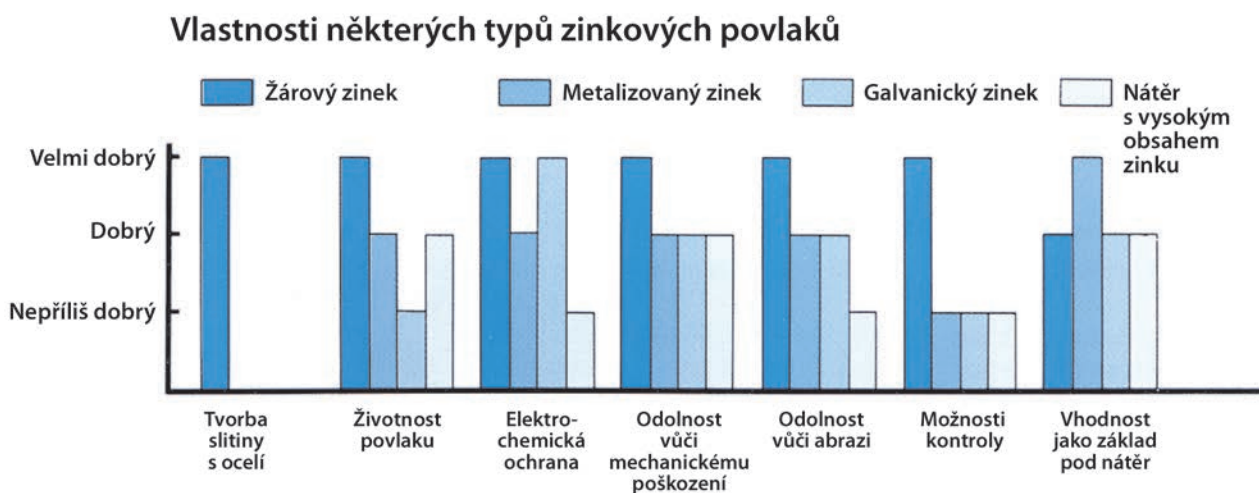
Aplikace nátěrové hmoty musí být provedena co nejdříve po přípravě povrchu. Nátěrová hmota musí být aplikována v souladu s instrukcemi výrobce. Aplikace těchto nátěrových hmot není povolena v podmínkách vysoké relativní vlhkosti a/nebo nízkých teplot, protože může být nepříznivě ovlivněna adheze.



Obr. 3-5 – Řez nátěrovou hmotou s vysokým obsahem zinku.

Nátěrové hmoty s vysokým obsahem zinku se mohou používat pro opravy malých poškození povlaku žárového zinku. Tloušťka opravného nátěru by měla být nejméně 100 µm.

Porovnání vlastností různých povlaků je uvedeno na obr. 3-6.



Obr. 3-6 – Porovnání vlastností různých zinkových povlaků a nátěrové hmoty s vysokým obsahem zinku. Mechanické zinkování není v porovnání uvedeno, dá se nejspíše porovnat s elektrolytickým zinkováním.

4. Žárové zinkování

Francouzský chemik Malouin objevil už v roce 1741, že zinek může chránit ocel proti korozi. Tato metoda našla poněkud větší praktické použití, až když Francouz Sorel zavedl chlorid amonný jako tavidlo. Dne 10. května 1837 podal svou první patentovou přihlášku na žárové zinkování. Sorelův patent se v praxi využívá dodnes.

V dodatku ke své patentové přihlášce z července 1837 nazývá Sorel metodu galvanizací. Zaměřuje se na galvanický článok, který se tvoří, je-li zinkový povlak poškozen. Ocel se na poškozeném místě stává katodou galvanického článku a zinek anodou, která ocel chrání proti korozi. Označení bylo přejato i pro jiné metody povlakování oceli zinkem a používá se také pro elektrolytické vylučování kovu obecně. Aby se zabránilo nedorozumění, nazývá se proto zinkování v roztaveném zinku žárovým zinkováním ponorem nebo zkráceně žárovým zinkováním (obr. 4-1).



Obr. 4-1 – Žárové zinkování.

4.1 Výhody a nevýhody žárového zinkování

Jako výhody je možné jmenovat:

- a) nízké vstupní náklady,
- b) dlouhá životnost, a tím i nízké náklady na opravy – konstrukci není třeba v průběhu její životnosti často udržovat,
- c) povrchová úprava se provádí v pevných zařízeních definovanou technologií, což dává velkou jistotu, že nedojde ke vzniku chyb,
- d) kvalita zinkového povlaku je zcela nezávislá na počasí v průběhu provádění úpravy,
- e) rovnoměrný a kvalitní povlak na celém povrchu zboží i na vnitřních a obtížně přístupných plochách (obr. 4-2),

- f) stejná nebo větší tloušťka povlaku na ostrých hranách a výstupcích než na rovinných plochách (obr. 4-3 a 4-4),
- g) dobrá odolnost zinkového povlaku proti mechanickým vlivům při dopravě, zatížení a montáži zajišťuje, že zinková vrstva jen zřídka vyžaduje opravy na místě,
- h) při eventuálních malých poškozeních chrání zinek ocel katodicky a menší šrámy není potřeba opravovat,
- i) žárově zinkovanou ocel je možné svařovat všemi běžnými způsoby,
- j) jednoduchá a rychlá kontrola.

Jako nevýhody je možné jmenovat:

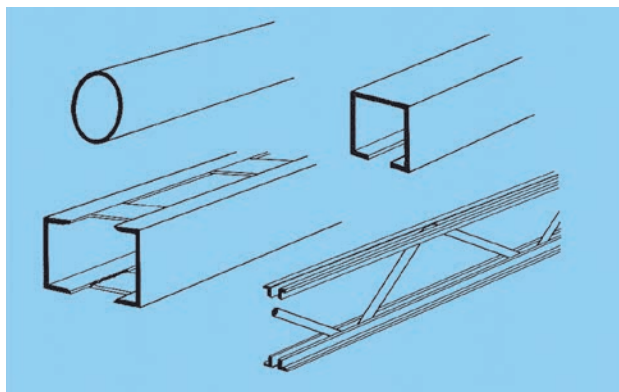
- a) nelze provádět na místě, vyžaduje pevné zařízení,
- b) barvu zinkového povlaku je možné změnit pouze nátěrem,
- c) rozměry konstrukce jsou omezeny velikostí zinkovací lázně, pokud se nepoužívá svařování nebo šroubové spojení,
- d) určité riziko u povrchů tvářených za studena, například tenkých plechů nebo profilů, které se deformují vlivem tepla v zinkovací lázni,
- e) svařování pozinkované oceli vyžaduje poněkud náročnější proceduru v porovnání s nepovlakovanou ocelí; vzniká nebezpečí zinkové horečky, pokud dojde k vdechnutí exhalací při svařování.

4.2 Provedení

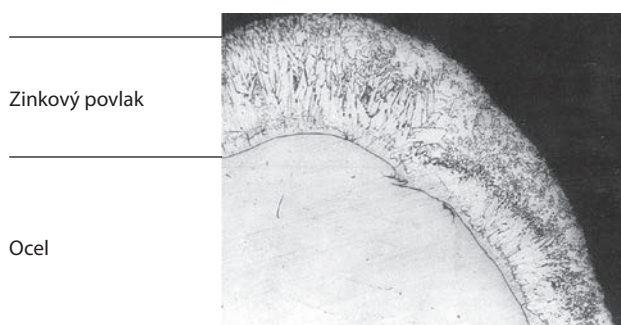
Pokud je povrch oceli znečištěn barvou, například ve vodě nerozpustnou označovací barvou, nebo struskou po svařování, musí se tyto nečistoty nejprve mechanicky odstranit tryskáním nebo broušením. Formovací písek se z odlitků musí otryskat, protože křemičitany, které písek obsahuje, není možné odmořit v kyselině chlorovodíkové, sírové nebo chloridu železnatém.

Zamaštění povrchu se nejčastěji odstraňuje alkalickým nebo kyselým odmašťováním. V současné době se používají ekologičtější lázně s tenzidy a bakteriemi, které se postarají o likvidaci tuků a olejů.

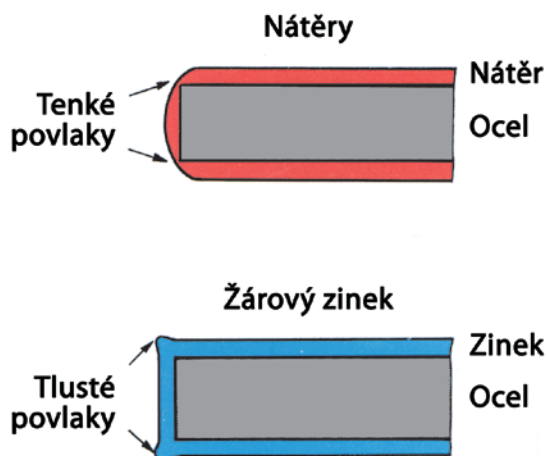
Po alkalickém odmaštění následuje oplach, který u kyselého odmašťovacího přípravku je možno vynechat.



Obr. 4-2 – Příklady profilů a konstrukcí s těžko přístupnými a zastíněnými plochami pro většinu metod přípravy povlaků. Žárové zinkování poskytuje na všech plochách dobrý povlak.



Obr. 4-3 – Řez závitem na žárově pozinkovaném šroubu. Povlak na hraně závitu je poněkud tlustší než na jeho bocích.



Obr. 4-4 – Povlaky z nátěrových hmot se ztenčují na rozích a ostrých hranách. Zinkový povlak je naopak na takových místech tlustší.

Moření probíhá v kyselině chlorovodíkové (cca 10 až 12 %) nebo v kyselině sírové (max. 20 %). Pro zvýšení účinnosti moření mořicí lázeň obsahuje železnaté soli.

Před ponořením do roztaveného zinku se musí na zboží nejprve nanést tavidlo. Má zabránit tvorbě oxidů a zároveň rozpustit oxidy na povrchu oceli a roztaveného zinku, takže dojde k přímému vzájemnému kontaktu obou kovů. To lze provést dvěma způsoby – suchým a mokřým zinkováním.

a) Suchý způsob neboli suché zinkování (obr. 4-5)

Po odmaštění, moření a oplachu se zboží ponoří do tavidlové lázně, což je vodný roztok chloridu zinečnatého a chloridu amonného, a usuší se. Regenerací tavidla se udržuje nízký obsah železa (cca 1 g/l), což umožňuje minimalizovat tvorbu tvrdého zinku v zinkové lázni. Ponořením do tavidla se na povrchu zboží vytvoří tenká vrstva tavidla, která brání oxidaci. Vrstva tavidla také čistí hladinu roztaveného zinku od oxidů při ponořování zboží. Před ponořením a vynořením zboží se z hladiny roztaveného zinku stírá popel ze spáleného tavidla a oxidy zinku.

Po vytažení ze zinku se zinkované zboží ochladí ve vodě nebo na vzduchu a je připraveno ke kontrole, eventuálně k následným úpravám, zabalení a expedici.

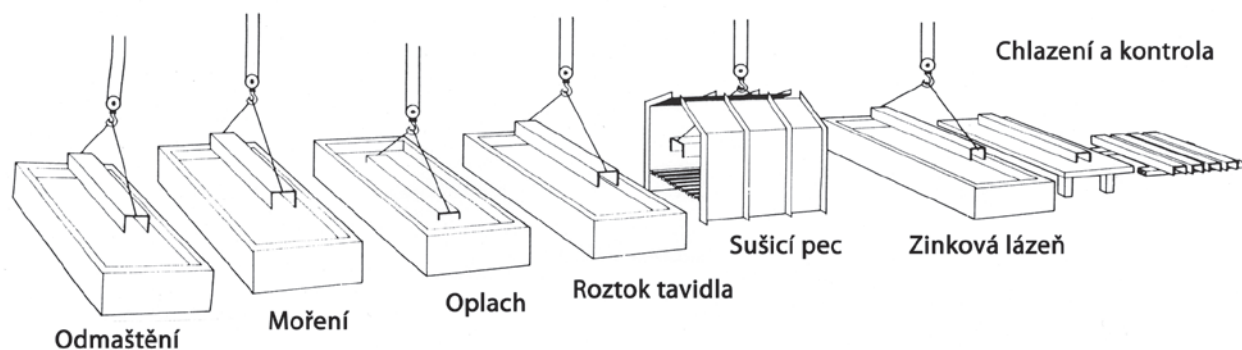
b) Mokřý způsob neboli mokré zinkování (obr. 4-6)

Při mokřém způsobu je hladina zinkovací lázně rozdělena na dvě části přepážkou. V jedné části se na hladině zinkové lázně nachází vrstva tavidla – chloridu amonného. Ihned po odmaštění a odmoření se zboží zanořuje přes vrstvu tavidla do zinkové lázně.

Poté se zboží protáhne zinkovou lázní do té její části, kde je čistá a volná hladina. Z jejího povrchu se stírá popel ze spáleného tavidla a oxidy zinku. Po vytažení ze zinku se zboží ochladí na vzduchu nebo ve vodě a připraví ke kontrole, eventuálně k následným úpravám, zabalení a expedici.

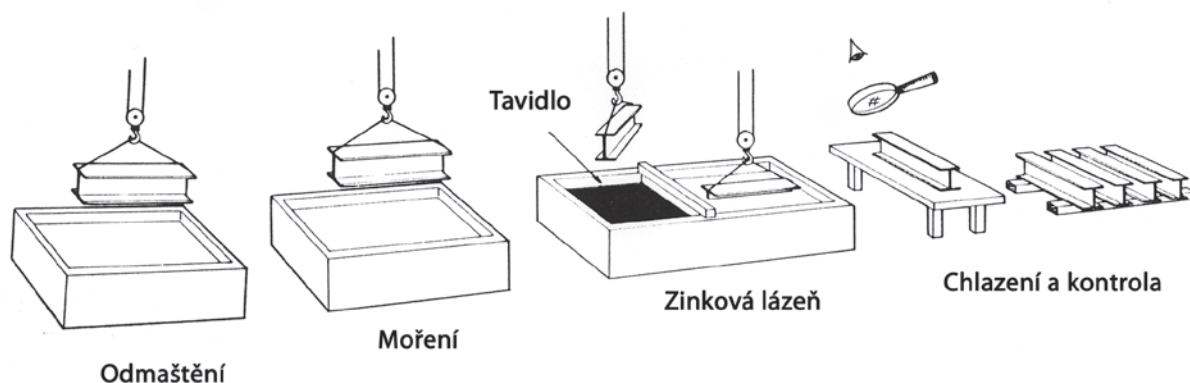
Obě výše uvedené metody poskytují z hlediska kvality a úrovně protikorozní ochrany zcela rovnocenné povlaky. Suchý způsob je běžnější, protože se dá snáze mechanizovat.

Suché zinkování



Obr. 4-5 – Technologie žárového zinkování suchým způsobem.

Mokrý zinkování



Obr. 4-6 – Technologie žárového zinkování mokrým způsobem.

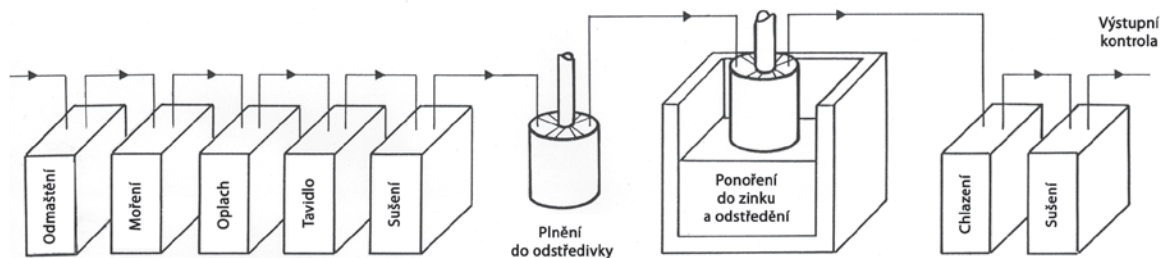
4.2.1 Žárové zinkování drobných dílů (obr. 4-7)

Drobné díly jako hřebíky, matice, podložky, kování atd. (hromadné zboží) se odmastí a odmoří stejně jako u předchozích metod. Po nanesení tavidla se díly nasypou do perforovaných košů a ponoří do zinkové taveniny. Po vytažení z lázně se koš umístí do stranou stojící odstředivky, případně se odstřeďuje přímo nad zinkovou lázní – viz obr. 4-7. Vlivem rotace (cca 800 ot./min) odteče přebytečný zinek z povrchu povlaku, který je tím pádem rovnoměrný a hladký. Ponory se zpravidla provádějí při vysoké teplotě (540 až 560 °C) a zinková vrstva je poněkud tenčí a má matnější povrch než při kusovém pozinkování při nízké teplotě (450 až 460 °C).

4.2.2 Žárové zinkování drátů a trubek

Drát, páska nebo roury se zinkují suchým nebo mokrým způsobem v zařízeních pracujících kontinuálně.

Bezprostředně po vytažení ze zinkové lázně se přebytečný zinek z povrchu součástí setře (drát), ofoukne (páska, roura) nebo profoukne (roura). Povlak je pak rovnoměrný a lesklý. Tloušťku zinkového povlaku je možné v určité míře regulovat stíráním nebo ofukem.



Obr. 4-7 – Technologie vysokoteplotního zinkování s odstřed'ováním.

4.2.3 Žárové zinkování ocelového pásu

Tenký plech se žárově zinkuje v kontinuálních zařízeních, kde je celý proces propojen do uzavřeného systému. Základním materiálem je za studena válcovaný plech ve svitcích, které se v průběhu procesu svařují do nekonečného pásu (obr. 4-8).

Po odmaštění se pás moří nebo oxiduje. Potom se povrch redukcí při 950 °C zbaví oxidů. Současně probíhá změkčovací žíhání oceli. Povrch oceli je kovově čistý a v ochranné atmosféře vstupuje přímo do zinkovací lázně.

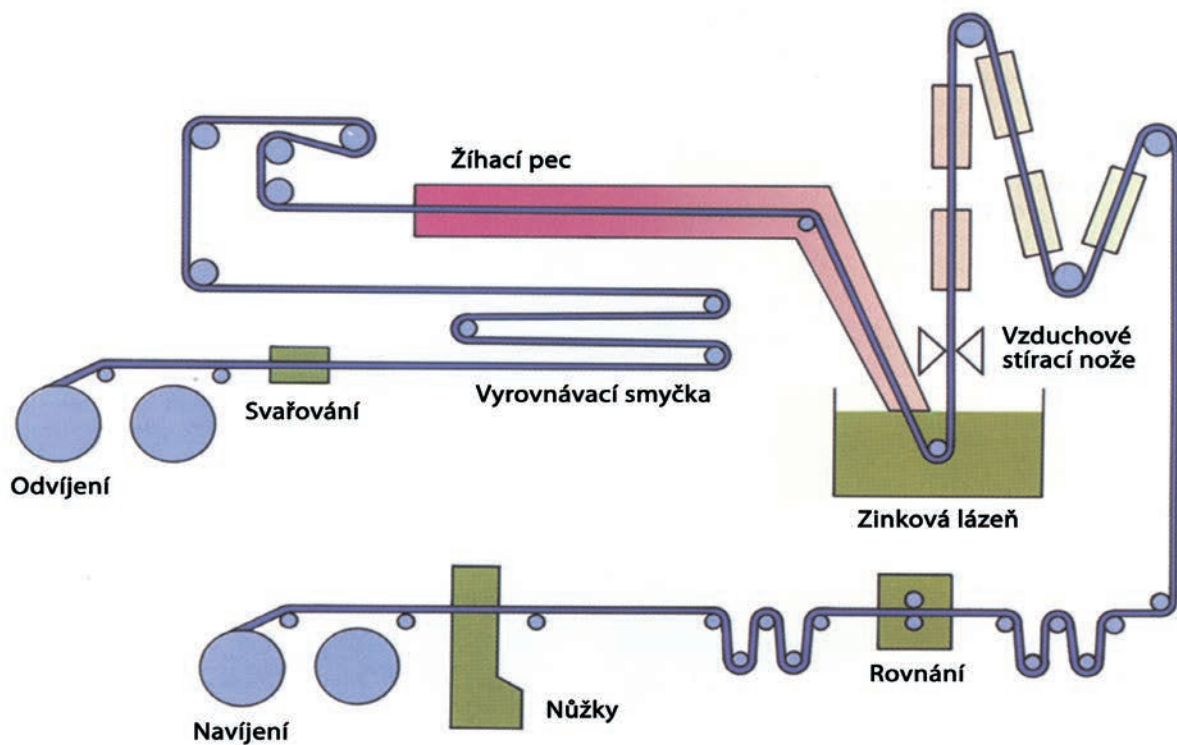
Po několika sekundách v zinkovací lázni vystupuje pás kolmo vzhůru a prochází mezi tzv. vzduchovými stíracími noži, které jemným proudem vzduchu nebo páry stírají zinkový povlak na požadovanou tloušť-

ku. Řízení tloušťky vrstvy a nastavení stíracích nožů se provádí pomocí tloušťkoměrů a počítačů.

Přes ochlazovací sekci, rovnání a úpravu, kde se provádí ochrana proti vzniku bílé rzi, se pás vede k formátovacím nůžkám, navíjí se na svitky pro expedici nebo pro další povlakování plastem, organickým povlakem nebo k dalšímu tváření.

Tenký ocelový plech se zinkuje buď mikrolegovaným, nízkolegovaným nebo vysokolegovaným zinkem. Nejběžnější legurou je v tomto případě hliník. Typické obsahy hliníku jsou od 0,2 % (žárově pozinkovaný plech) přes 5 % (Galfan) po 55 % (Aluzink, Galvalume).

Úzká páska se může zinkovat stejně jako tenký plech.

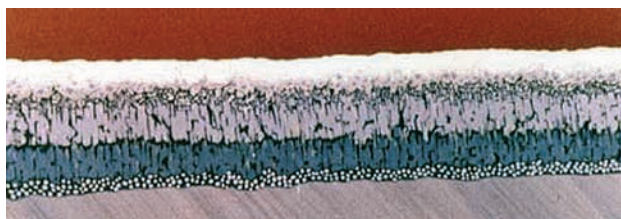


Obr. 4-8 – Kontinuální žárové zinkování plechu.

5. Reakce mezi železem a zinkem

Teplota zinkové taveniny při kusovém zinkování je 450 až 460 °C. Při zinkování drobných dílů (hromadné zinkování) se používají teploty v rozmezí 540 až 560 °C v kombinaci s odstředováním, které usnadňuje odstranění přebytku zinku například ze závitů. Teploty nad 470 °C vyžadují použití keramické zinkovací vany. Pro nižší teploty se běžně používají vany z čistého železa (feritu), které snižuje rychlost reakce mezi zinkem a stěnami vany.

Když se ocel dostane do kontaktu s roztaveným zinkem, dojde k reakci mezi oběma kovy a na povrchu oceli se vytvoří slitina železo – zinek. Tato slitina je tvořena povlakem složeným z několika vrstev slitinových Fe-Zn fází. Obsah Fe v jednotlivých fázích klesá se vzdáleností od podkladové oceli. Po vytažení ze zinkové lázně ztuhne vrstva čistého zinku na vnější vrstvě slitinové fáze. Obr. 5-1 ukazuje strukturu takového povlaku.



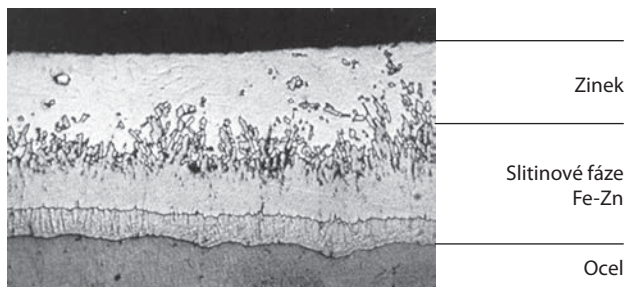
Obr. 5-1 – Schematický řez strukturou zinkového povlaku. Nejvýše je vrstva η -fáze s 0,03 % Fe, pod ní ζ -fáze s 5,8 až 6,7 % Fe, δ -fáze se 7 až 11 % a γ -fáze s 21 až 28 % Fe.

Tloušťka, struktura a vzhled povlaku jsou ovlivněny průběhem reakce mezi ocelí a zinkem a tím, jak rychle tuhne vnější zinková vrstva. Průběh reakce závisí na mnoha parametrech. Největší význam má tloušťka podkladu, složení a stav povrchu oceli (mimo jiné struktura, velikost zrna, napětí a povrchová drsnost). Dále mají vliv i složení taveniny a její teplota, stejně jako doba ponoru. Průběh reakce je velmi komplikovaný a dosud ne zcela vyjasněný.

5.1 Neuklidněné nebo hliníkem uklidněné oceli

Do této skupiny se počítají ty oceli, které mají společný obsah křemíku a fosforu pod 0,04 %.

Při žárovém zinkování těchto ocelí se krystaly železo – zinek ve slitinové vrstvě vytvářejí těsně na sobě (obr. 5-2). Tím slitinová vrstva brání roztavenému zinku dosáhnout povrchu oceli. K reakci může proto dojít pouze mezi zinkem a železem, které prodifunduje slitinovou vrstvou. Výsledkem je, že rychlost reakce, a tím rychlost růstu vrstvy s časem klesá a povlak zůstane relativně tenký.



Obr. 5-2 – Řez zinkovým povlakem na neuklidněné oceli. Na oceli uklidněné hliníkem je povlak podobný.

Když zinek na povrchu povlaku ztuhne, je vrstva hladká a má lehce namodralý kovový lesk (obr. 5-7). V některých případech, zvláště u tenkého plechu, může zinek ztuhnout ve tvaru náhodně orientovaných krystalů, které povrchu dávají vzhled „květu“. Přidávky bismutu, olova nebo cínu do zinkové lázně mají vliv na tvorbu a velikost zinkového „květu“ při kusovém zinkování.

Tvorba „květu“ je jen jedna z forem tvorby krystalů, která kromě jiného závisí na rychlosti tuhnutí zinkové vrstvy. Tvorba „květu“ není známkou špatné nebo dobré kvality zinkování a také nemá žádný význam z hlediska korozní odolnosti povlaku.

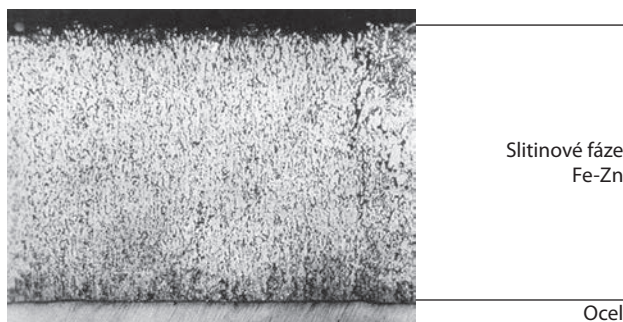
Při kontinuálním žárovém zinkování širokého pásu je možné velikost „květu“ řídit, což při kusovém pozinkování není možné.

5.2 Oceli uklidněné křemíkem

Při výrobě uklidněné oceli se přidává křemík nebo hliník jako dezoxidační činidlo. Obsah křemíku (Si) a v některých případech i fosforu (P) má pro reakce při žárovém zinkování velký význam.

5.2.1. Sandelinovy oceli

Oceli s celkovým obsahem křemíku a fosforu v oblasti 0,04 až 0,14 % se v souvislosti se žárovým zinkováním nazývají Sandelinovy oceli (podle Roberta W. Sandelina, který se této problematice věnoval). V běžné zinkovací lázni je reakce mezi ocelí a zinkem velmi rychlá a vytvořený povlak je tlustý a nepravidelný. Krystaly ζ -fáze, tvořící vnější slitinovou vrstvu, rostou v podobě tenkých dlouhých zrn. Zinek v tavenině

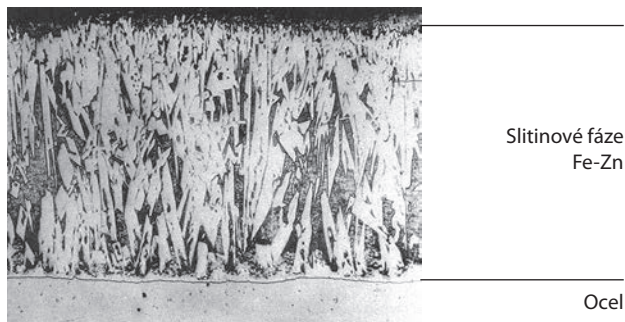


Obr. 5-3 – Řez zinkovým povlakem částečně uklidněné oceli s obsahem 0,06 % Si. Zinkování bylo provedeno při 460 °C.

snadno proniká mezi zrna a růst vrstvy probíhá velmi rychle (viz obr. 5-6). Pokud není k dispozici vhodně legovaná zinková tavenina (viz kapitola 5.4), je třeba se tomuto typu ocelí při zinkování vyhnout.

5.2.2. Sebistyho oceli

Oceli uklidněné křemíkem mají obsah Si nad 0,15 %. ζ -fáze se tvoří v podobě dlouhých sloupcovitých krystalů (obr. 5-4).



Obr. 5-4 – Řez zinkovým povlakem u oceli uklidněné křemíkem s 0,26 % Si (460 °C).

Tato struktura je – podobně jako u Sandelinových ocelí – rozvolněná a umožňuje zinku z lázně v roztažené podobě pronikat mezi krystaly. Reakce se nebrzdí jako u neuklidněné nebo hliníkem uklidněné oceli a zůstává rychlá po celou dobu, kdy se zboží nachází

Třída	Typický obsah reaktivních prvků % (hmotnostní zlomek)	Doplňující informace	Typické vlastnosti povlaku
A	$\leq 0,03$ % Si a $< 0,02$ % P	Viz poznámka 1 a poznámka 4	Povlak má lesklý vzhled a jemnější texturu. Struktura povlaku obsahuje vnější vrstvu čistého zinku.
B	0,14 % Si až 0,25 % Si	Reaktivitu oceli mohou ovlivňovat i jiné prvky. Zejména obsah fosforu převyšující 0,035 % způsobí zvýšení reaktivity.	Povlak může mít lesklý nebo matný vzhled. Struktura povlaku může obsahovat vnější vrstvu čistého zinku nebo vrstva slitiny zinku může dosahovat až k povrchu povlaku v závislosti na složení oceli.
C	$> 0,03$ % Si až $< 0,14$ % Si	Mohou vznikat povlaky s nadměrnou tloušťkou.	Povlak má tmavý vzhled a hrubší texturu. V povlaku převažují slitiny železo/zinek, které často dosahují až k povrchu povlaku. Odolnost proti poškození při manipulaci je snížena.
D	$> 0,25$ % Si	S rostoucím obsahem křemíku roste tloušťka povlaku.	

POZNÁMKA 1 – Lze očekávat, že tyto vlastnosti budou dosaženy i na ocelích, jejichž složení vyhovuje vztahům $Si \leq 0,03$ % a $Si + 2,5P \leq 0,09$ %. U ocelí válcovaných za studena lze očekávat, že tyto vlastnosti budou dosaženy na ocelích, jejichž složení vyhovuje vztahu $Si + 2,5P \leq 0,04$ %.

POZNÁMKA 2 – Vlastnosti povlaku uvedené v této tabulce mohou být významně ovlivněny přítomností legujících prvků (např. niklu nebo hliníku) v zinkové tavenině. Tato tabulka neposkytuje návod pro žárové zinkování ponorem při vysokých teplotách (tj. ponor do roztaveného zinku o teplotě 530 °C až 560 °C).

POZNÁMKA 3 – Složení ocelí uvedená v této tabulce se budou působením jiných činitelů (např. válcování za tepla) značně měnit, takže se změní i jednotlivé mezní hodnoty.

POZNÁMKA 4 – Oceli obsahující $< 0,01$ % křemíku a zároveň $> 0,035$ % hliníku mohou mít nižší reaktivitu, což se může projevit menší tloušťkou povlaku proti očekávané. U těchto ocelí mohou být nižší hodnoty soudržnosti povlaku.

POZNÁMKA 5 – Charakteristiky povlaku mohou být ovlivněny i konstrukčním řešením výrobku určeného k zinkování.

Obr. 5-5 – Vztah mezi vlastnostmi povlaku a složením oceli

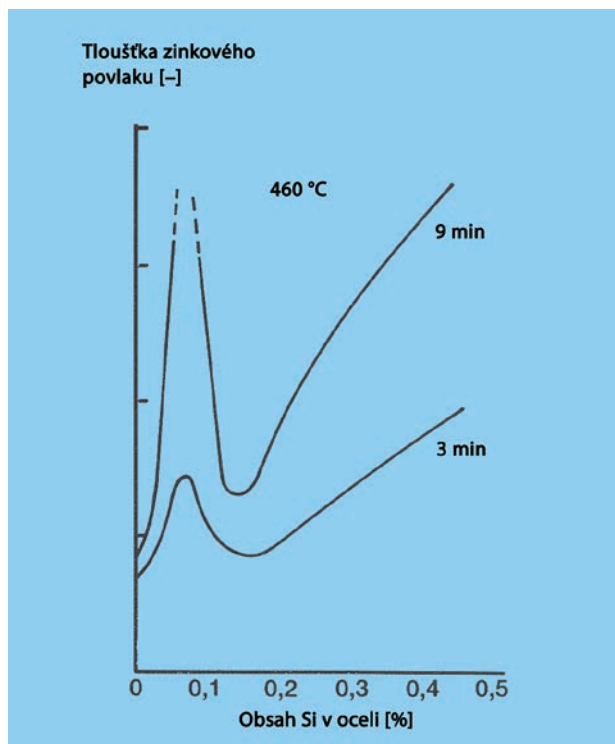
v zinkové lázni. Tloušťka povlaku roste rychle s rostoucí dobou ponoru (obr. 5-6) a vrstva je obecně relativně tlustá. Křemík v ukladné oceli způsobuje, že se δ_1 -fáze, složená z těsně uspořádaných šesterečných krystalů, tvoří v povlaku v poměrně tenké vrstvě, která nebrání difúzi atomů železa směrem od podkladu. Vznikají nepravidelně uspořádané jednoklonné krystaly ζ -fáze, které představují dominantní vrstvu povlaku. Na rozdíl od Sandelinových ocelí jsou ve vnitřní struktuře povlaku na křemíkem uklidněných ocelích zastoupeny výhradně slitinové fáze a na jeho povrchu zpravidla chybí lesklá vrstvička zbytkového čistého zinku. Povlak je poměrně křehký, oproti povlaku na neuklidněné oceli je méně odolný proti mechanickému namáhání.

Tloušťka povlaku není přímo úměrná obsahu křemíku, jako na obr. 5-6. Mezi různými ocelmi se stejným obsahem křemíku, ale z různých šarží, mohou být velké rozdíly. Mohou nastat i odchylky v rámci jedné šarže.

Rozdíly mohou nastat i proto, že přes stejný celkový obsah křemíku u různých ocelí může být určitý podíl křemíku vázaný na kyslík v souvislosti s tepelným zpracováním oceli. Určité množství volného křemíku je rozpuštěno v oceli, což je to množství, které ovlivňuje reakci (7). To je dále komplikováno tím, že k reakci mezi železem a zinkem dochází až do několika mikrometrů od povrchu oceli. Křemík může být kromě toho v povrchové vrstvě oceli nerovnoměrně rozptýlen (8). To platí i pro další prvky jako jsou síra a fosfor, které také ovlivňují reakční rychlost soustavy železo – zinek (9).

Při vytažení ze zinkové lázně tuhne vrstva čistého zinku na slitinové vrstvě stejně jako u oceli neuklidněné křemíkem. Vlivem vysoké reaktivity pokračuje reakce železo – zinek, i když zboží opustí zinkovou lázeň, a to tak dlouho, dokud je teplota nad 225°C . Vrstva čistého zinku se tak může zcela přeměnit na ζ -fázi, a povrch zinkové vrstvy se tak stane matně šedý (obr. 5-7). Barva je dána podílem krystalů železo – zinek, které jsou rozptýleny v čistém zinku ve vnější vrstvě povlaku. Barva se mění od světlé, lesklé (čistý zinek) po šedý, matný povrch (železo – zinek).

Často není povrch pouze šedý, ale má žíhaný vzhled s některými oblastmi matnými, šedými a jinými světlými a lesklými. Důvodů může být více. Především koncentrace křemíku, ale také fosforu a síry, jakož i dalších prvků v povrchové vrstvě oceli, napětí



Obr. 5-6 – Závislost mezi obsahem křemíku v oceli a tloušťkou zinkového povlaku při době ponoru 3, respektive 9 min při 460°C .



Obr. 5-7 – Žárově zinkované roury s různým obsahem křemíku. Některé jsou vyrobeny z oceli uklidněné hliníkem a získaly kovově lesklý povrch, zatímco jiné byly vyrobeny z oceli uklidněné křemíkem a získaly matný, šedý povrch.

a struktura povrchové vrstvy a také tepelné zpracování mohou ovlivnit reakční rychlost. Na vzhled má vliv také rychlost chladnutí oceli po zinkování.

Drsnost povrchu, zvláště u materiálu tvářeného za studena, hraje při růstu zinkové vrstvy také roli. Povrchová drsnost nesmí být příliš vysoká. Krystaly

ζ-fáze zpravidla rostou kolmo k povrchu. U konvexních nebo víceméně rovných povrchů rostou krystaly, aniž by jeden druhému překážel, a zinek může snadno pronikat mezi krystaly, což podporuje růst povlaku. U konkávních ploch a v prohlubních se krystaly vzájemně blokují, a tak růstu povlaku brání.

5.3 Vliv dalších legujících prvků

Uhlík v obsahu pod 0,3 % má na reakci železo – zinek malý vliv, zatímco vyšší obsahy zvyšují reakční rychlost, a tedy i tloušťku povlaku. Velký význam má i forma, ve které je uhlík v oceli přítomen, tzn. zda se jedná o perlit, sorbit, martenzit atd. (10).

Mangan, chrom a nikl také zvyšují reakční rychlost, avšak v těch koncentracích, které jsou běžné pro nízkolegované oceli, pouze nevýznamně (11).

Niob, titan a vanad se v ocelích používají na zjemnění zrna. Jejich obsahy jsou v běžných ocelích nízké, takže vliv těchto prvků se může zanedbat (12).

Síra a fosfor mají normálně nízký obsah v konstrukční oceli a na reakci železa a zinku nemají významný vliv. Pro fosfor však platí výjimka. Jestliže obsah křemíku a fosforu společně přesáhne 0,040 %, nachází se ocel v Sandelinově oblasti, a to vyvolává vysokou reaktivitu.

Větší obsah síry – nad 0,18 % u určitých automatových ocelí – významně zvyšuje reakční rychlost. Takové oceli nejsou vhodné pro žárové zinkování. Reakce se zinkem je tak rychlá, že se ocel rozpadá.

5.4 Vliv dalších faktorů

Teplota zinkovací lázně je běžně 450 až 460 °C. V tomto v praxi používaném teplotním intervalu – 440 až 470 °C (oblast nízkoteplotního zinkování) – se nijak významně nemění rychlost reakce železo – zinek.

Pokud se žárové zinkování provádí při vysoké teplotě – 540 až 560 °C, netvoří se ζ-fáze. Naproti tomu se tvoří dvě δ-fáze – delta kompaktní a delta palisádová – na povrchu γ-fáze. Povrch je matný, s tmavým nebo světle šedým zbarvením.

Protože se ζ-fáze při vysokoteplotním zinkování netvoří, nemá křemík žádný vliv na reakci železo – zinek. Různé typy oceli reagují stejně a získané povlaky mají obdobnou tloušťku. Je obtížné získat povlaky s tloušťkou větší než 100 μm.

Doba ponoru v zinkovací lázni se stanovuje zpravidla podle možnosti manipulace se zbožím. Obvykle se pohybuje mezi 1,5 a 5 minutami. Obtížně manipulovatelné a těžké zboží vyžaduje doby ponoru kolem

10 minut. Vliv obsahu křemíku v různých ocelích na tloušťku zinkové vrstvy vyplývá z obr. 5-6.

Drsnost povrchu oceli, jak je uvedeno v kapitole 5.2.2, ovlivňuje tloušťku povlaku. Drsnější povrch dává tlustší povlak. Například otrýskání povrchu může podle typu oceli a profilu povrchu zvýšit tloušťku povlaku o 15 až 100 %. Výraznější korozní napadení oceli nebo intenzivnější moření také způsobuje vytvoření větší tloušťky vrstvy. Tloušťku povlaku ovlivňují i některé obráběcí operace. Větší posuv při soustružení způsobuje vytváření tlustších povlaků než jemnější posuv. Také broušení může být příčinou nečekaných efektů. Řezání plamenem a laserem naopak často způsobuje tvorbu tenčích povlaků než je běžné.

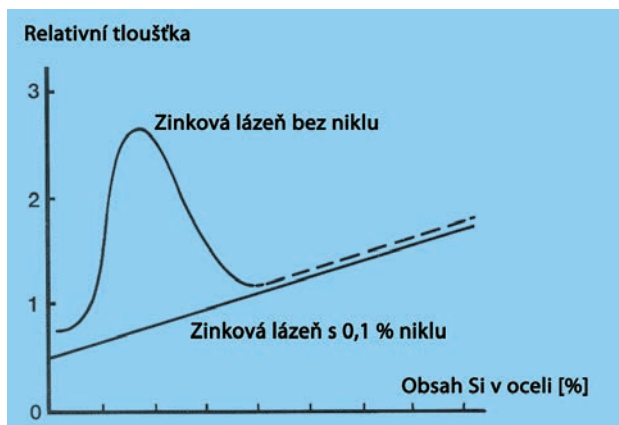
Tloušťka stěny zinkované oceli má také vliv. S rostoucí tloušťkou stěny zboží roste tloušťka povlaku. To se projeví zvláště u rozměrných součástí vyžadujících delší dobu manipulace. Příčinou je mj. to, že lehčí předmět má kratší dobu manipulace (doba ponoru) než předmět těžší.

Zpracování oceli (mechanické a tepelné) se pro různé polotovary liší. To může způsobit rozdíly ve struktuře, která reaktivitu oceli rovněž ovlivňuje.

Složení zinkové lázně se může do určité míry měnit. Základem je elektrolytický zinek (často SHG – Special High Grade) s obsahem zinku 99,995 %. Zbývající tisíce procenta jsou tvořeny hlavně železem. Kvůli ovlivnění zinkování se přidávají legury. V posledních letech probíhal intenzivní výzkum týkající se legur v lázni. Hlavně se jedná o hliník nebo další přísady, které působí ve smyslu potlačení silného vlivu Sandelinova efektu, získání lesklého povlaku, lepšího stékání zinku a zvýšené korozní odolnosti.

Hliník se přidává v malých množstvích (0,001 až 0,01 %), aby se při žárovém zinkování zvýšil lesk povlaku. Vyšší obsahy vedou ke vzniku černých nepokovených míst, protože tavidlo není schopné reagovat s oxidem hlinitým. Poněkud vyšší obsah hliníku se používá při pokovování pásu a drátu (0,1 až 5 %). Pro kontinuální žárové zinkování tenkého plechu se mohou používat obsahy hliníku až 55 % (Aluzink).

Nikl (0,05 až 0,07 %) v zinkové lázni eliminuje do značné míry Sandelinův efekt a potlačuje lineární nárůst tloušťky zinkového povlaku u oceli s obsahem křemíku až do koncentrace 0,22 %. Při obsazích křemíku nad 0,22 % nemá nikl žádný vliv na tloušťku



Obr. 5-8 – Přídavek niklu v zinkové lázni eliminuje Sandelinův efekt. Vliv niklu na reaktivitu končí s obsahem cca 0,22 % Si v oceli.

povlaku. Obr. 5-8 ukazuje průběh závislosti tloušťky povlaku v zinkové lázni legované niklem.

Dříve se přidávalo do zinkové lázně olovo, aby se ovlivnila viskozita a povrchové napětí taveniny. To se dnes již z ekologických důvodů nedělá. Místo toho se používá bismut v koncentracích mezi 0,1 až 0,2 %. Pro zvýšení stékavosti zinku při vytahování z lázně se bismut ukázal stejně dobrý nebo lepší než olovo. Také přilnavost povlaku je lepší. Zvláště výrazně je tento vliv patrný při vysokoteplotním zinkování.

Cín dává zinkové vrstvě charakteristický „květ“ a používá se někdy v kombinaci s bismutem. Obsah cínu v lázni je přibližně 1 %.

5.5 Volba oceli

Protože volba oceli, zvláště obsah křemíku, do značné míry určuje tloušťku povlaku při žárovém zinkování, je důležité, aby konstruktér (respektive výrobce) byl o věci natolik informován, aby bylo možné dosáhnout požadovaného cíle.

Pokud je požadován povlak, který splní požadavky normy ČSN EN ISO 1461, je třeba volit ocel neuklidněnou nebo uklidněnou hliníkem. Křemíkem uklidněnou ocel je přirozeně možné zvolit také, avšak obsah křemíku by se pak měl pohybovat mezi 0,15 a 0,22 %. Získané povlaky se budou vyznačovat větší tloušťkou než vyžaduje uvedená norma.

Pokud bude pozinkovaný výrobek použit v prostředí s vyšší korozní agresivitou než je běžné, ČSN EN ISO 1461 obsahuje doporučení, aby obsah křemíku

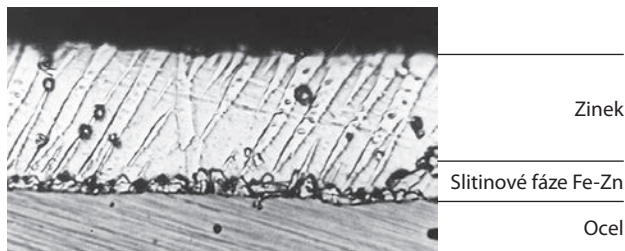
byl větší než 0,22 %. Tloušťka povlaku je úměrná obsahu křemíku.

V extrémních korozních podmínkách může být tlustý zinkový povlak zvolen alternativně ke kombinaci žárové zinkování a nátěr (viz kapitola 11).

Pokud se vyžaduje lesklý povrch zinkového povlaku, je třeba zvolit neuklidněnou nebo hliníkem uklidněnou ocel (bez přídavku křemíku).

5.6 Reakce železo – zinek při zinkování pásu

Při kontinuálním žárovém zinkování tenkého plechu je výchozím materiálem za studena válcovaný ocelový pás ve složení, které je vhodné pro tuto metodu. Doby ponoru v zinkové lázni jsou velmi krátké a teplota se udržuje v úzkých mezích. Zinková lázeň se lehuje malým množstvím hliníku – cca 0,2 %, který má tu vlastnost, že brzdí reakci železo – zinek při krátkých dobách ponoru. Slitinová vrstva je velmi tenká, cca 1 až 2 μm . Zbytek povlaku je tvořen zinkem o tloušťce od 7 do 30 μm (obráz. 5-9) podle oblasti použití.



Obr. 5-9 – Řez zinkovou vrstvou u kontinuálně zinkovaného plechu.

Slitiny železo – zinek jsou relativně tvrdé a křehké. Protože jsou do značné míry nahrazeny měkkým a tvárným zinkem, může se kontinuálně pozinkovaný plech ohýbat, tvarovat, lemovat, lisovat a táhnout, aniž by povlak popraskal nebo se odloupl.

Jak je uvedeno v kapitole 5.4, může být plech pokoven zinkem legovaným hliníkem, který poskytuje lepší korozní odolnost v náročnějších prostředích. Běžné komerční označení slitin je Galfan (5 % Al) nebo Galvalume/Aluzink (55 % Al).

6. Pevnost žárově zinkované oceli

V průběhu let byla provedena řada zkoušek a pokusů, aby se zjistilo, zda a v jaké míře žárové zinkování ovlivňuje pevnost u nízkouhlíkových, nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelí. V dalším textu budou shrnuty nejdůležitější výsledky výzkumu.

6.1 Pevnost v tahu, vrubová houževnatost a tvárnost

Pevnosti v tahu a tlaku, tažnost a kontrakce jsou u pozinkované oceli prakticky nezměněné, a to jak u svařenců, tak i u hutních polotovarů.

Pevnost za studena tvářené nebo tepelně zpracované oceli může být žárovým zinkováním snížena. Jak velké toto snížení může být závisí na typu tvářením nebo zpracování, například zda je popouštěcí teplota nižší než teplota zinkovací lázně.

Vrbová houževnatost oceli se poněkud snižuje u oceli tvarované za studena, ale ne na tolik, aby to ovlivnilo možnosti použití oceli.

Žárové zinkování neovlivňuje tvárnost oceli. Velká míra přetvoření může vést až k tomu, že zinkový povlak popraská.

6.2 Napětí po svařování

Žárové zinkování redukuje pnutí od svařování v konstrukcích o 50 až 60 %. Rovněž v tepelně ovlivněných zónách dojde ke snížení zbytkového pnutí. Svařované konstrukce tak mohou získat v pozinkovaném stavu větší únosnost než ve stavu bez úpravy.

6.3 Únavová pevnost

Žárové zinkování ovlivňuje únavovou pevnost různých typů ocelí. Její snížení je relativně nevýznamné.

Vyhodnocením testů provedených v laboratoři se ukázalo, že žárově zinkovaný materiál je porovnatelný s novým, neupraveným materiálem (obr. 6-2).

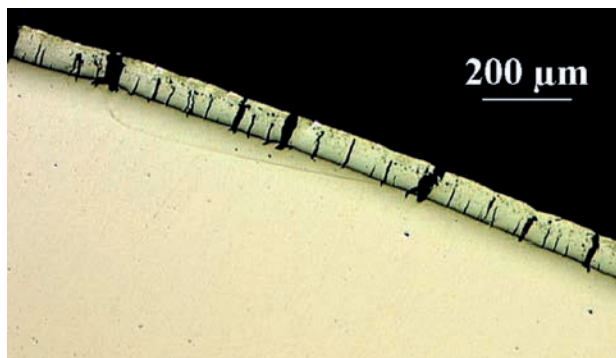
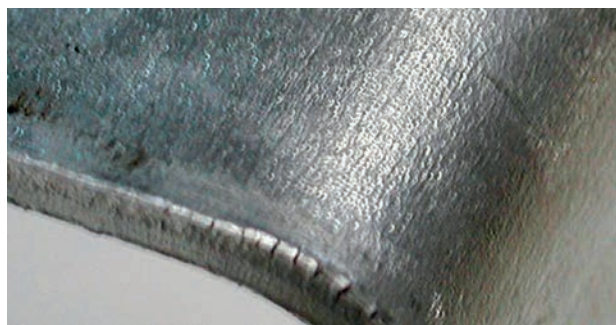
6.4 Křehkost, praskání

Při žárovém zinkování je třeba být opatrný u těch součástí, které jsou tvarovány za studena. Zvláště citlivé jsou neuklidněné oceli, zatímco ostatní oceli jsou citlivé méně.

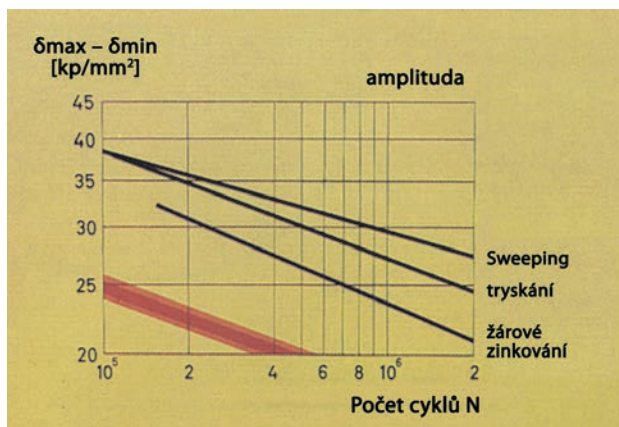
Tvarování za studena snižuje vrubovou houževnatost oceli a zvyšuje teplotu přechodu houževnatého na křehký lom. Následující stárnutí při zvýšené teplotě tento efekt zesiluje. Při žárovém zinkování za studena tvarované oceli dochází k vyžhání (460 °C), které může v určitém případě vést ke křehnutí.

Při pochybnostech je třeba provést před žárovým zinkováním zkoušky. Při neznámých vlastnostech oceli je nutné před zinkováním provést vyžhání při teplotě 600 až 650 °C nebo normalizační žhání. Oceli náchylné ke stárnutí jsou dnes již celkem vzácné.

Vliv moření v kyselině na vznik vodíkové křehkosti nebyl jednoznačně prokázán.



Obr. 6-1 – Ilustrace popraskání žárového povlaku zinku po ohýbání.



Obr. 6-2 – Wöhlerovy křivky u oceli S355, proměnné zatížení. Hnědý pás označuje průběh při normálním korozním praskání.

Jestliže jsou v oceli velká pnutí, může se při žárovém zinkování vytvořit mezikrystalová tvorba trhlin neboli zinkové křehnutí. Tvorba trhlin v oceli může způsobit, že zinek proniká do oceli podle hranic zrn a snižuje její pevnost. Konstrukční ocel obvyklé jakosti není k mezikrystalovému praskání náchylná.

6.5 Žárově zinkované zboží a požár

Žárově zinkovaná ocel je nehořlavá, avšak její pevnost s rostoucí teplotou klesá. Ocelová konstrukce zůstává stabilní, dokud se nedosáhne kritické teploty, což nastává mezi 500 a 700 °C podle podmínek zatížení.

Požární ochrana začíná vždy už ve fázi plánování. Riziko požáru a náklady na požární ochranu mohou být zredukovány často už ve fázi konstrukční přípravy.

Odolnost vůči ohni představuje minimální dobu v minutách, po kterou konstrukce plní svoji úlohu v podmínkách standardního požáru. Konstrukce se po tuto dobu nesmí zhroutit. Minimální odolnosti tvoří základ pro klasifikaci podle obr. 6-3.

Požární odolnost	Doba odolnosti požáru v minutách	Označení podle pravidel požární bezpečnosti budov
R30	≥ 30	odolávající požáru
R60	≥ 60	odolávající požáru
R90	≥ 90	odolný požáru
R120	≥ 120	odolný požáru
R180	≥ 180	velmi odolný požáru

Obr. 6-3 – Požární odolnost.

Čas je možné prodloužit následujícími opatřeními:

- omezením průniku tepla pomocí krytí (zakrytí betonem nebo minerální vatou),
- odvedením tepla, například vyplněním pilířů vodou nebo betonem.

Pro žárově zinkování se často volí první varianta a konstrukce jsou klasifikovány ve třídě R30–R60.

Vrstva žárového zinku zvyšuje požární odolnost až na 30 minut (R30). Při přestupu tepla do konstrukce hraje velkou roli součinitel emisivity povrchu tělesa, který je pro žárově zinkovaný povrch nižší (0,35) než pro „černou“, nepozinkovanou ocel (0,7).

6.6 Žárově zinkované zboží vystavené zvýšené teplotě

V projektu Zinkování teplotně namáhaných ocelí, který byl realizován v režii Severského svazu zinkoven (Nordisk Försämringsförening) ve spolupráci s Institutem pro výzkum kovů ve Stockholmu, se studovalo kromě jiného chování povlaku žárového zinku při zvýšené teplotě (13). Dříve se uvádělo, že vrstva obstojí při teplotách do 275 °C. To platí, pokud je expozice relativně krátkodobá. Pro expozice delší než několik týdnů již výše uvedená teplota neplatí.

Studie ukázaly, že povlaky nanášené při vysokoteplotním zinkování snášejí vystavení teple hůře než povlaky nanášené při nízkoteplotním zinkování.

Je to dáno tím, že zvýšená teplota vede k fázovým změnám daným difuzí v zinkové vrstvě – vnější vrstva čistého zinku se přeměňuje na slitinové fáze. Když je celá vrstva tvořena slitinovými fázemi (fáze železo – zinek), roste křehkost a může dojít k tvorbě trhlin, zvláště při tuhnutí (nebo cyklickém zatěžování). Povlaky nanášené při vysokoteplotním zinkování jsou citlivější, protože často již od začátku obsahují výhradně slitinové fáze.

Je třeba se také vyhnout kombinacím zvýšené teploty a mechanického namáhání, například ve formě vibrací.

Nejlepší dlouhodobou odolnost proti zvýšené teplotě mají proto povlaky nanášené při nízkoteplotním zinkování, které se vyznačují velkým podílem čistého zinku.

Povlak žárového zinku se může používat pro následující nejvyšší teploty:

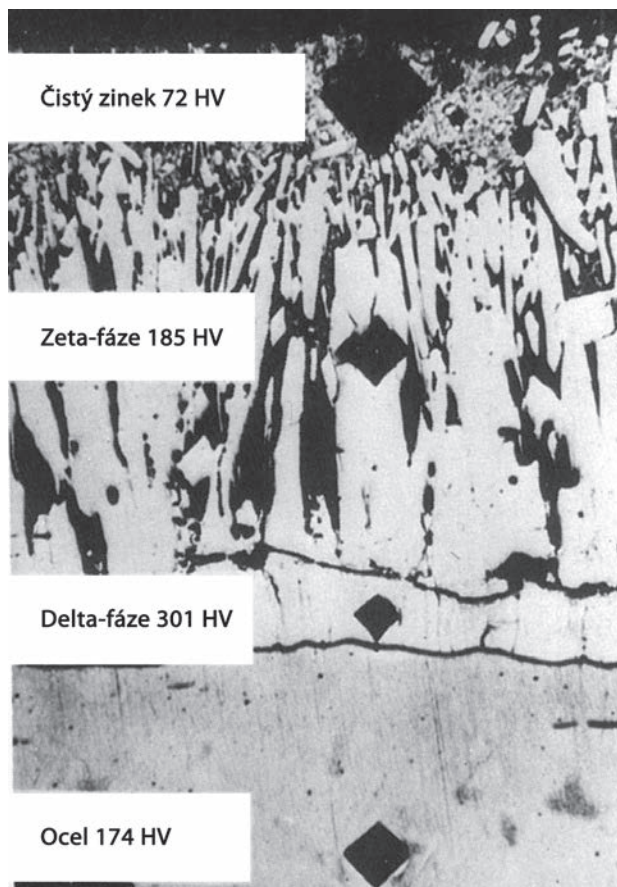
- a) nízkoteplotní vrstva: 225 °C
(pro kratší dobu se připouští 250 °C),
- b) vysokoteplotní vrstva: 200 °C.

6.7 Odolnost zinkového povlaku proti abrazi

Čistý zinek je měkký kov, avšak i tak je tvrdší než většina organických povlaků. Slitinové fáze železo – zinek, které při žárovém zinkování vznikají, jsou naopak velmi tvrdé, tvrdší než běžná konstrukční ocel (obr. 6-4).

Fáze železo – zinek proto snášejí otěr výrazně lépe než čistý zinek. Pokus ukázal, že slitinová vrstva má odolnost vůči otěru asi čtyři- až pětkrát vyšší než je tomu u vrstvy čistého zinku (14).

Žárové zinkování se často používá na výrobky, jejichž plochy jsou vystaveny otěru. Příkladem mohou být prahy v dopravních prostředcích, dopravní vozíky, schodiště, ochrany hran, krytky v podlaze, zábradlí atd.

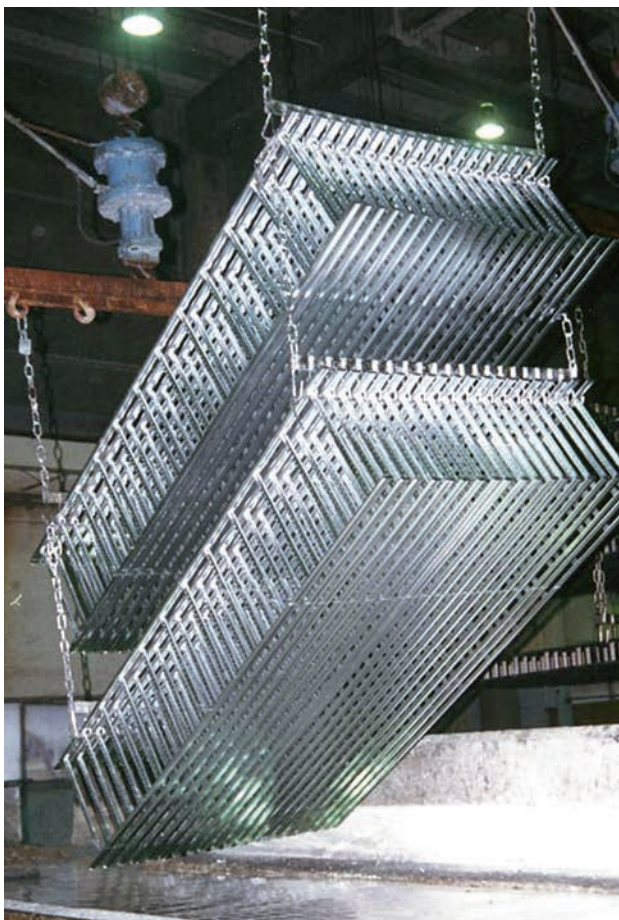


Obr. 6-4 – Vpichy mikrotvrdoměru v oceli a několika fázích tvořících zinkovou vrstvu.

7. Provedení a výroba konstrukce

Provedení konstrukce pro žárové zinkování se do značné míry shoduje s tím, co platí pro praxi z hlediska přípravy výroby, svařování a konstruování obecně. Určité detaily při žárovém zinkování vyžadují zvláštní pozornost:

- Velikost zinkovací vany. Rozměry zinkovací vany (obr. 7-3) omezují velikost konstrukce. U rozměrných výrobků se doporučuje smontování až po pozinkování, výjimečně může problém vyřešit „dvojitý ponor“ (obr. 7-4).
- Hmotnost konstrukce. Zinkáři mají možnost převzít k zinkování pouze takové zboží, se kterým si poradí jejich manipulační technika, například jeřáb.



Obr. 7-1 – Žárové zinkování kabelových roštů. Sklon závěsu usnadňuje odtékání přebytečného zinku.

7.1 Bezpečnostní požadavky

Žárové zinkování zahrnuje ponoření v lázních předúprav a potom v lázni s roztaveným zinkem. To znamená, že konstrukce s vnitřními dutinami musí být opatřeny otvory pro přívod a odvod kapalin a vzduchu. Bez nich může konstrukce v horké zinkovací lázni explodovat.

U dutých součástí je nutno dbát na správné umístění a dimenzování drenážních otvorů. V případě, že dojde k zadržení kyseliny ve vzniklé kapse nebo v nepřístupném zákoutí, pak se zadržená kyselina při teplotě zinkové taveniny nejen odpaří a rozpíná se, ale především se rozkládá na chlór a vodík, který ve směsi se vzduchem tvoří vysoce výbušnou směs. Náhlý nárůst tlaku v dutině způsobuje mohutný rozstřík zinkové taveniny, v krajním případě může dojít k explozi.

Vhodné velikosti otvorů jsou uvedeny na obr. 7-2. Jedná se pouze o minimální rozměry. Pokud se tím nesníží pevnost konstrukce, je lépe volit větší.

Otvory se musí umístit tak, aby umožňovaly dobré zatečení kapalin a zinku do konstrukce a opět snadné vytečení ven (viz obrázky).

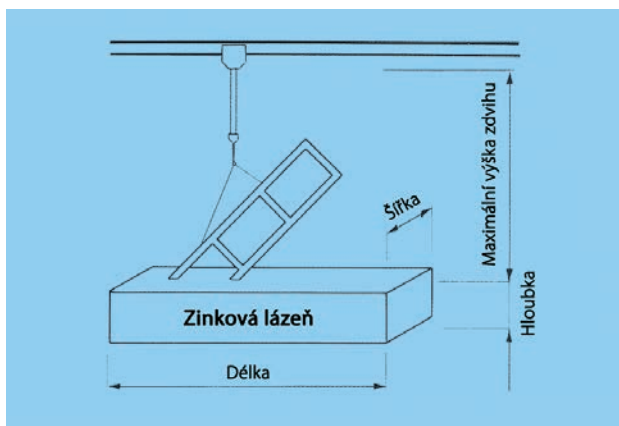
Při pochybnostech o řešení otvorů je dobré kontaktovat zinkovnu a umístění a velikost otvorů s ní prodiskutovat.

Vnitřní průměr trubky [mm]	Průměr otvoru [mm]
< 13	10
13 až 25	10 až 12
25 až 40	12 až 14
40 až 50	14 až 16
50 a více	>16

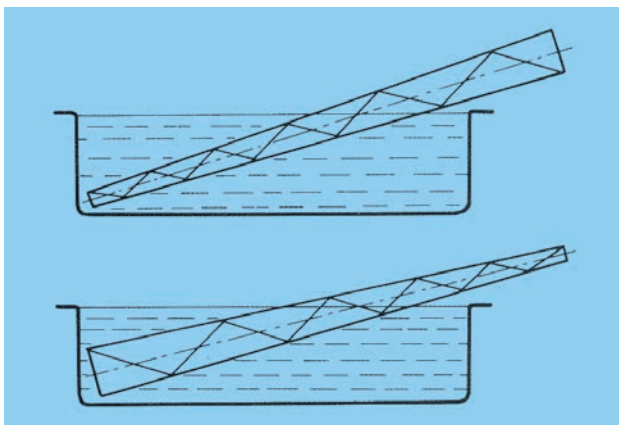
Obr. 7-2 – Minimální doporučené velikosti otvorů pro odvzdušnění trubkových konstrukcí.

7.2 Kvalitativní hlediska

Následující pokyny nejsou předpokladem pro to, aby bylo možné žárově zinkovat, avšak jejich dodržování usnadní zinkování a výrazně zlepší jeho kvalitu.



Obr. 7-3 – Princip žárového zinkování.



Obr. 7-4 – Princip dvojitého ponoru.

7.2.1 Možnosti manipulace

Konstrukce by měla být přednostně zhotovena ze snadno manipulovatelných dílů, které se smontují po zinkování, nejlépe šroubovými spoji. Pokud je to možné, měl by být výrobek vybaven otvory nebo oky, za které lze uchytit přípravek určený k zinkování. Uchycení je třeba umístit tak, jak je uvedeno na obr. 7-8.

7.2.2 Vzájemná pohyblivost

Díly, které musí zůstat vzájemně pohyblivé, je nutno zinkovat odděleně v rozebraném stavu. Společné pozinkování zpravidla způsobí spájení obou prvků. V případě, že by spára mezi oběma prvky byla příliš těsná, zinek z důvodu velkého povrchového napětí do takové spáry nevnikne a ta zůstane nepozinkovaná.

U děr zpravidla dochází ke zbytnění vrstvy povlaku a ke zmenšení světlého průřezu díry. Doporučuje se pro šrouby volit průměr díry o 2 mm větší, než je jmenovitý průměr dřívku šroubu.

7.2.3 Pozor na konstrukce, které se mohou deformovat

Na jednom výrobku se nesmí kombinovat materiály různé tloušťky (obr. 7-7). Zahřívání v zinkovací lázni je pak nerovnoměrné a výrobek se může ohýbat. Neměly by se používat dlouhé štíhlé konstrukce. Větší rovné plochy s tloušťkou materiálu pod 3 až 4 mm se musí upravit dle obr. 7-9 prolisem nebo nahraněním, aby se neprohýbaly.

7.2.4 Pozor na různé typy povrchů a materiálů

Nová válcovaná ocel by se neměla svařovat s litiinou nebo ocelí silně napadenou korozí. Takové materiály se musí upravovat různým způsobem, což v případě, pokud jsou již svařeny dohromady, není možné. Zinkové povlaky jsou pak různě tlusté, a povrchy proto mají různý vzhled.

Různé typy oceli – neuklidněná nebo hliníkem uklidněná ocel – se nesmí svařovat s křemíkem uklidněným materiálem. Vzhled povrchu je pak rozdílný a různé jsou i tloušťky vytvořeného povlaku (obr. 5-7).

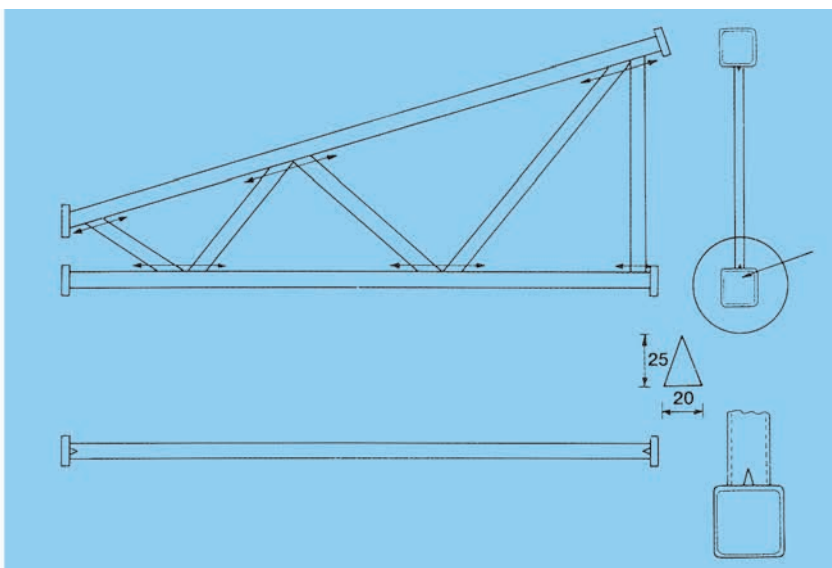
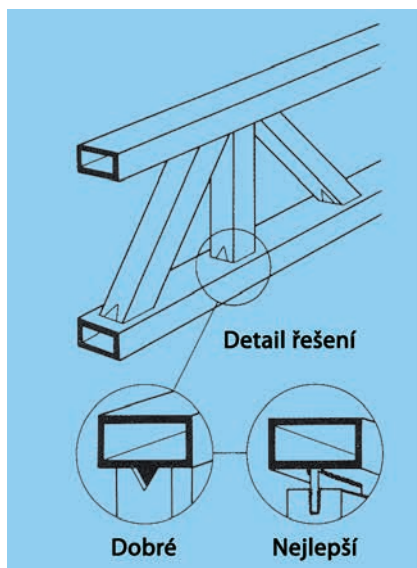
7.2.5 Pozor na uzavření kyselin

Konstrukce by měla být provedena tak, aby nevznikly úzké spáry (viz obr. 7-10 a 7-13). Svary na tupo jsou z hlediska zinkování jednoznačně lepší než přeplátované spoje.

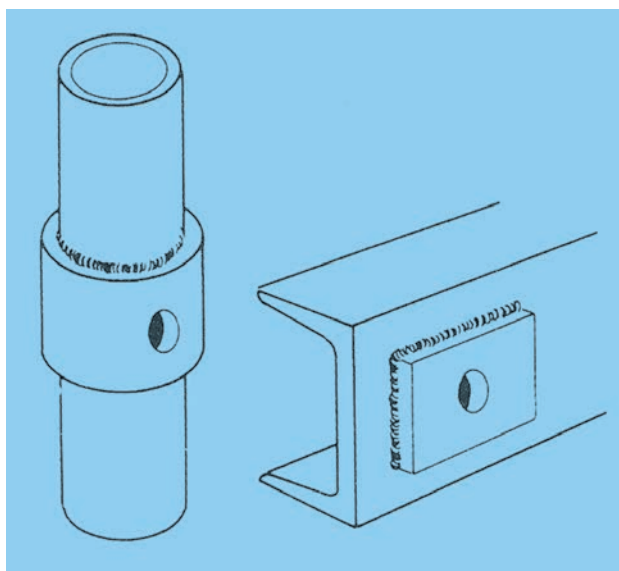
Pokud je třeba použít přeplátované spoje, je vhodné provést svar kolem celé spáry. Je důležité, aby nevznikaly průchozí póry. Pokud je plocha přeplátování na sebe dosedajícími povrchy větší než cca 70 cm², je třeba doplnit odvodušňovací otvor, který zamezí explozi (viz obr. 7-6).

Pokud se kyselina dostane do štěrbin, nelze ji už vytěsnit. Zinek je méně smáčivý než kyselina a neuzavře otvor. Zadržaná kyselina a soli po ovlhčení vytvoří rezavě zbarvený roztok, který odtud vytéká na povrchy pod ním a kazí vzhled (obr. 7-11).

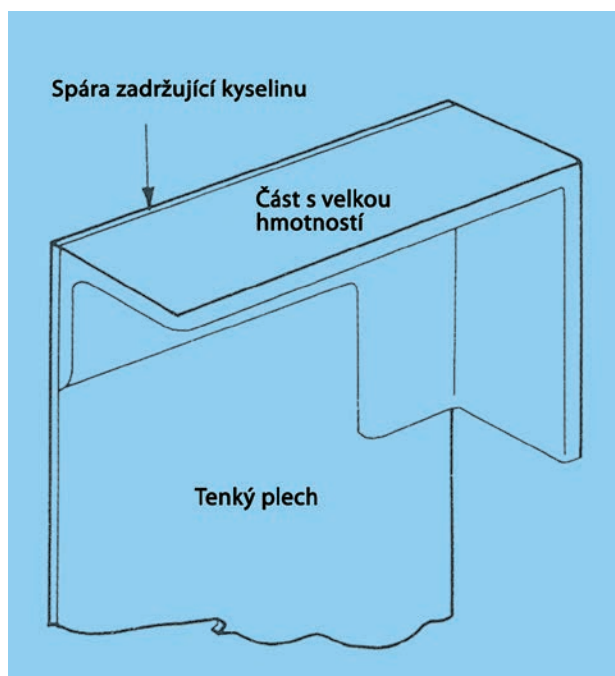
Odlitky by měly mít rovný, kompaktní povrch bez zbytků formovacího písku. Póry a otvory mohou zadržovat kyseliny, a proto by se neměly vyskytovat.



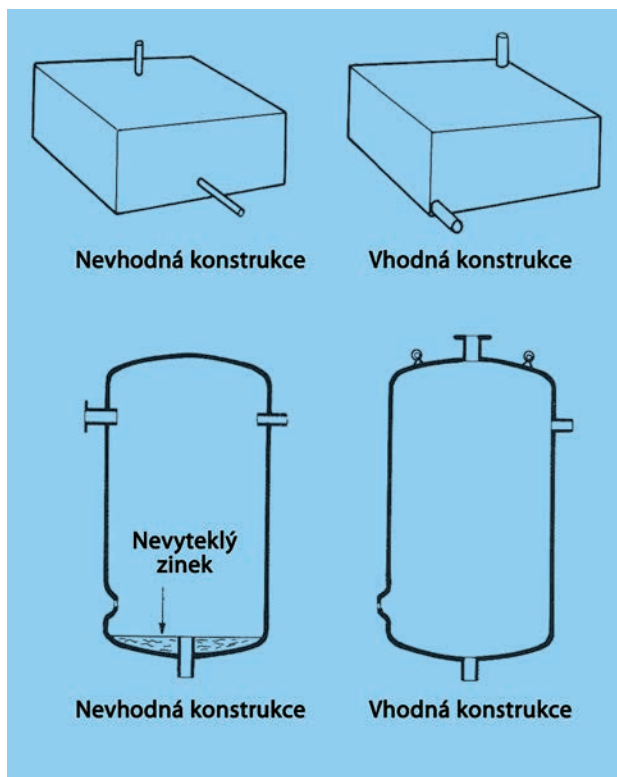
Obr. 7-5 – Ve svařované konstrukci je třeba počítat ve všech uzlech s otvory pro odvzdušnění a zatékání a odvod zinku. Uzavřená trubka znamená riziko výbuchu.



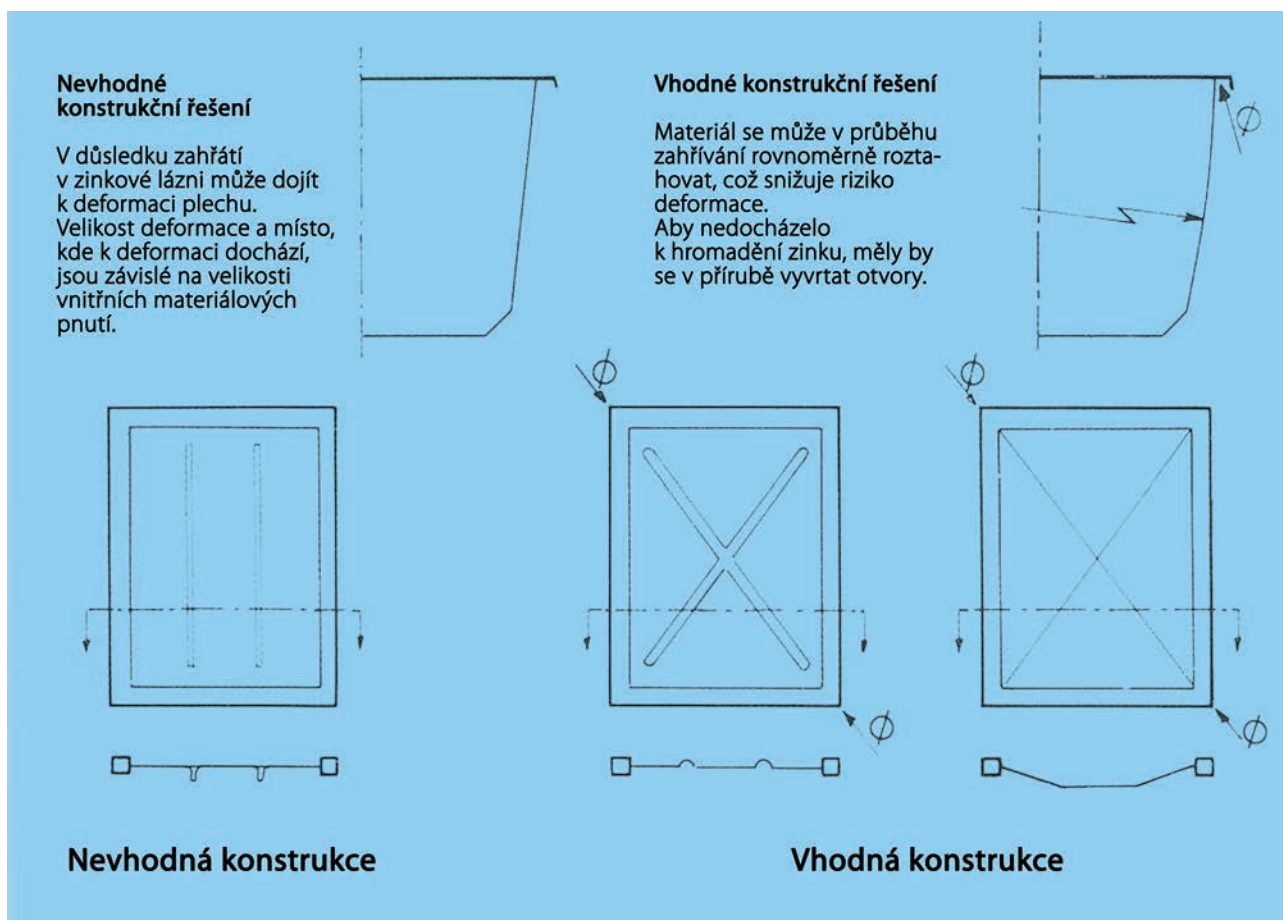
Obr. 7-6 – Na přivařovaných výztuhách a přeplátovaných spojích, pokud jsou větší než 70 cm^2 , je třeba počítat s otvorem.



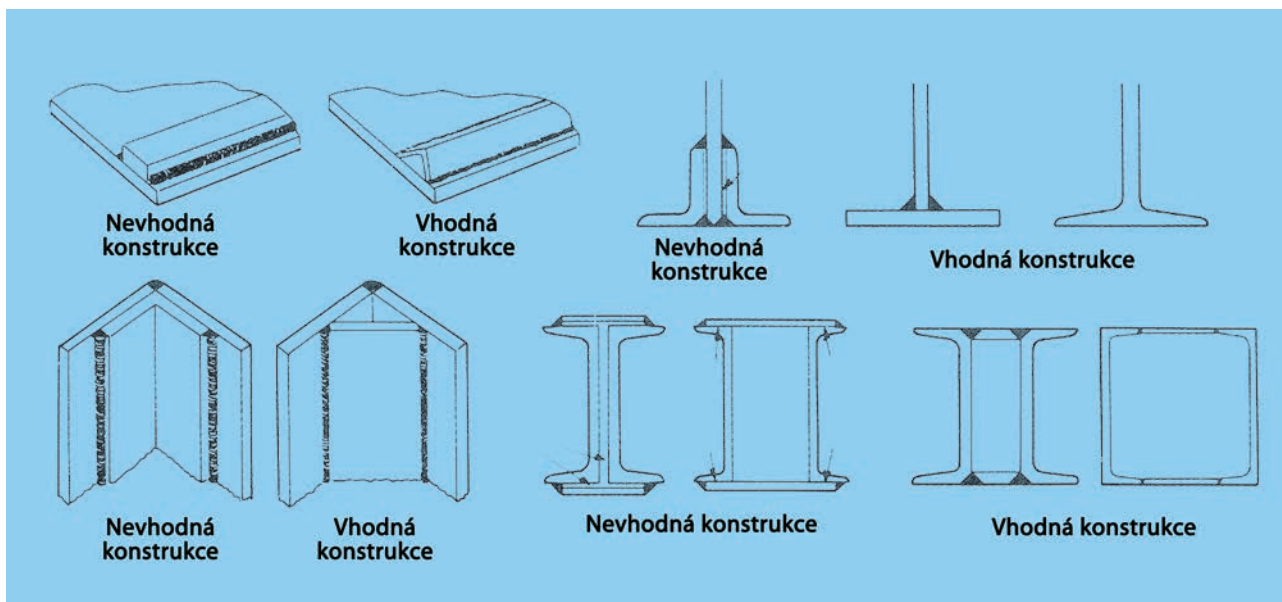
Obr. 7-7 – Díly s příliš rozdílnou tloušťkou materiálu se spolu nesmí svařovat. Hrozí nebezpečí deformací při ohřevu a ochlazování.



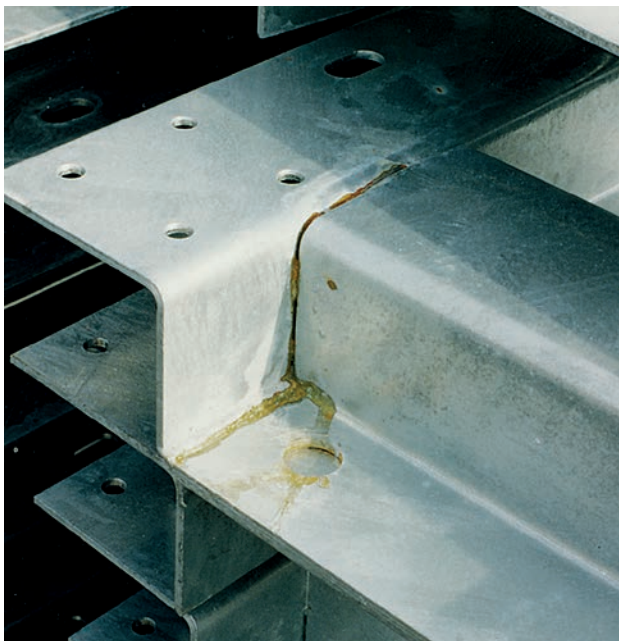
Obr. 7-8 – Trubková připojení zasahující dovnitř brání vyprázdnění nádoby od roztoků z předúprav a vytečení zinku. Tato připojení je třeba umísťovat blízko rohu a diagonálně. U větších nádob je třeba počítat s oky pro snadší manipulaci.



Obr. 7-9 – Příklad vyztužení ploch pro minimalizaci deformací.



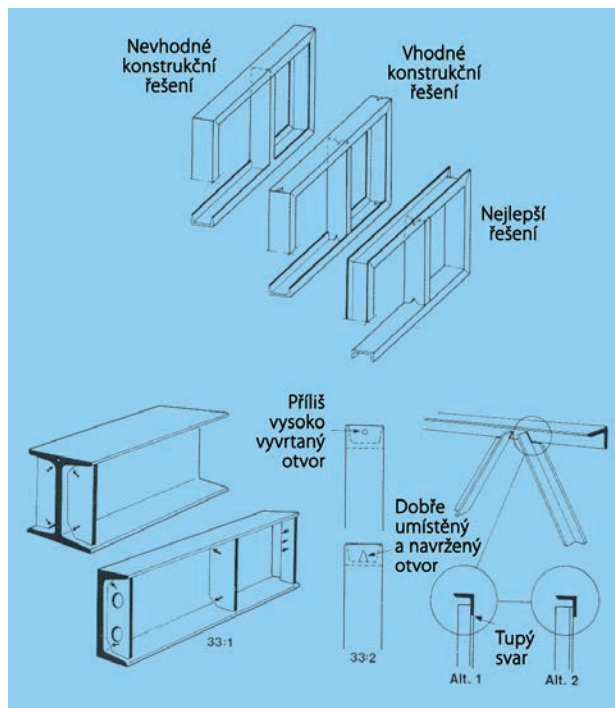
Obr. 7-10 – Příklad provedení konstrukce se svarovými spoji, které zabrání vzniku úzkých štěrbin zadržujících kyseliny.



Obr. 7-11 – Kyselina zadržaná ve spáře. Kyselina a soli železa proleptaly otvor v zinkové vrstvě, vytékají korozní produkty.

7.2.6 Pozor na vznik kapes

Konstrukce musí být navržena tak, aby zinek mohl při vytáhnutí ze zinkové lázně odtéci ze všech povrchů (obr. 7-12). Jinak dochází k vadám zinkování (dojde k zadržení zinku).



Obr. 7-12 – Výztužná žebra nosníku by měla být vystřižena v rohu nebo tak, aby se vytvořila jedna příčná spára, jíž by mohly kapaliny vytékat. Pokud se budou provádět odvětrávací otvory, měly by být tak blízko výztuhy, jak je to možné. Příčníky by neměly jít proti rámu. Všimněte si, že alternativa 2 vytváří spáru pro zadržení kyseliny a je méně vhodná.

7.2.7 Výrobky se závitem

Vnější závity se musí řezat s menším než jmenovitým průměrem, protože po zinkování musí jít našroubovat do matice. Redukce průměru závitu je dána normou. Určující je průměr.

Vnitřní závity se řezou nebo protahují na nominální rozměr až po zinkování. Vnější závity ve smontované konstrukci se musí po pozinkování také proříznout. Po sešroubování chrání zinkový povlak na vnějších závitech ocel i na závitech vnitřních.

7.2.8 Značení

Dočasné značení zboží určeného k zinkování je třeba provádět vodou rozpustnou barvou.

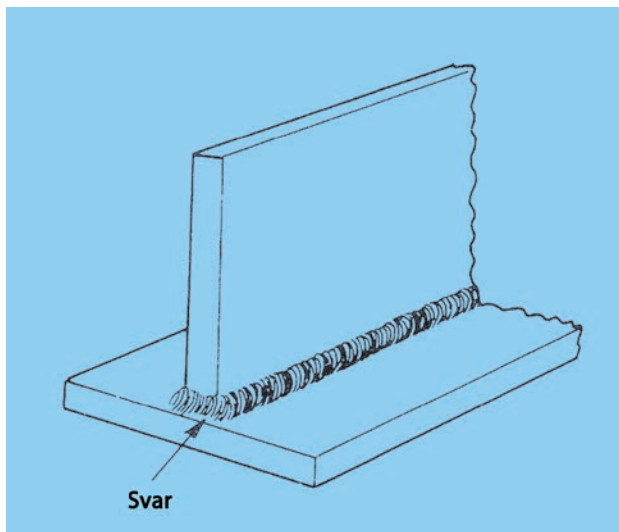
Trvalé značení se může provést vyražením písmen nebo číslic přímo na zboží nebo štítky na ně upevněnými. Vyražení musí být tak hluboké, aby se dalo přečíst i po nanesení zinku.

7.2.9 Svařování

Svary musí být bez pórů, které by mohly zadržovat kyseliny.

Při oboustranném svařování je třeba svářet přes okraje plechů, aby se do případně vzniklé spáry nemohla dostat kyselina (obr. 7-13).

Při svařování by se měly preferovat takové metody, při kterých nevzniká struska (například MAG). Pokud se používají povlakované elektrody, je třeba strusku dobře odstranit. Struska se při normálním moření neodstraní a při žárovém zinkování je zdrojem černých nepozinkovaných míst.



Obr. 7-13 – Konce oboustranného svaru je třeba propojit, aby nevznikla dutina, do které by se eventuálně mohla uzavřít kyselina.

7.2.10 Další obecné zásady

Předpokladem pro dobrý výsledek při žárovém zinkování jsou čisté ocelové povrchy. Povrch nesmí být znečištěn barvou, tukem, olejem a dehtem. Tyto nečistoty se v předúpravě při normálním moření neodstraní a při zinkování způsobují vznik černých nepozinkovaných ploch.

Podobné nečistoty – stejně jako struska po svařování – musí být odstraněny ručně, odmaštěním, otryskáním nebo obroušením, což úpravu zdražuje.

Nečistoty je často obtížné nalézt předem. Objeví se až po zinkování. Může být nutné zopakovat povrchovou úpravu, a to je samozřejmě ještě dražší.

Povrch páleného řezu se vyznačuje jiným složením podkladu, než má okolní kov. Materiál je zde zpravidla ochuzen o některé legury a vyznačuje se nízkou reaktivitou se zinkem. Tloušťka povlaku žárového zinku na ploše páleného řezu často nedosahuje minimálních hodnot předepsaných normou a povlak se navíc vyznačuje sníženou přilnavostí. Pro dosažení kvality povlaku srovnatelné s okolním povrchem, musí být plochy pálených řezů obroušeny nebo jinak mechanicky obrobena.

8. Normy

Pro kusové zinkování jsou kvalitativní požadavky a zkušební metody uvedeny v následující normě **ČSN EN ISO 1461** – Povlaky žárového zinku nanesené ponorem na ocelové a litinové výrobky – Specifikace a zkušební metody.

Obecné požadavky

Norma uvádí, že vzhled zinkové vrstvy, její tloušťka, struktura a fyzikální i chemické vlastnosti jsou ovlivněny chemickým složením materiálu, tloušťkou stěny a podmínkami při zinkování. Požadavky na výměnu informací mezi zinkovnou a zákazníkem jsou v přílohách k normě.

Zinkovny jsou v současnosti certifikovány podle ISO 9000. Běžně musí nejnížší kvalitativní požadavek na tloušťku povlaku a jeho vzhled odpovídat normě ČSN EN ISO 1461.

Aby bylo možné výše uvedený požadavek realizovat, musí zákazník poskytnout zinkovně údaje o kvalitě oceli a o zvláštním požadavku na tloušťku povlaku.

Tloušťka stěny zboží [mm]	Místní tloušťka povlaku [μm]	Průměrná tloušťka povlaku [μm]
ocel > 6 mm	70	85
ocel > 3 mm až ≤ 6 mm	55	70
ocel ≥ 1,5 až ≤ 3 mm	45	55
ocel < 1,5 mm	35	45
litinové zboží > 6 mm	70	80
litinové zboží ≤ 6 mm	60	70

Obr. 8-1 – Tloušťky povlaku podle ČSN EN ISO 1461.

Zvláštní požadavky na tloušťku povlaku

V určitých případech může být požadován tlustší povlak, než je uvedeno v normě – vyžaduje se nasažení v agresivnějším prostředí nebo mimořádně dlouhá životnost. Ve švédské normě, příloha F (ČSN tento dodatek nemá), jsou údaje, jak získat tlustší povlaky podle následujících tříd: čísla 115, 165 nebo 215 (viz obr. 8-2) odkazují na tloušťku povlaku v mikrometrech. V dalších sloupcích jsou

Tloušťka vrstvy v μm	Průměrná koncentrace Si [%]	Mezní koncentrace Si [%]
Fe/Zn 115	0,18	0,15 až 0,21
Fe/Zn 165	0,25	0,22 až 0,28
Fe/Zn 215	0,32	0,29 až 0,35

Obr. 8-2 – Průměrné a mezní hodnoty pro obsah křemíku, pokud se vyžaduje větší tloušťka povlaku.

uvedeny průměrné a hraniční hodnoty obsahu křemíku v oceli, které by měly vést k dosažení tlustších zinkových vrstev.

Specifické normy existují také pro výrobky se závittem, ve kterých jsou k dispozici informace o možnostech, jak korigovat vnější závit (šroub) nebo vnitřní závit (matice).

Další normy související se žárovým zinkováním:

- ČSN EN ISO 14713-1 – Zinkové povlaky – Směrnice a doporučení pro ochranu ocelových a litinových konstrukcí proti korozi – Část 1: Obecné zásady pro navrhování a odolnost proti korozi
- ČSN EN ISO 14713-2 – Zinkové povlaky – Směrnice a doporučení pro ochranu ocelových a litinových konstrukcí proti korozi – Část 2: Žárové zinkování ponorem
- ČSN EN 10240 – Vnitřní a/nebo vnější ochranné povlaky na ocelových trubkách – Požadavky na povlaky nanášené žárovým zinkováním ponorem v automatizovaných provozech
- ČSN EN 10244-2 – Ocelové dráty a výrobky z drátů – Kovové neželezné povlaky na ocelových drátech – Část 2: Povlaky ze zinku nebo slitin zinku
- ČSN EN 10143 – Ocelové plechy a pásy kontinuálně pokovené – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru
- ČSN EN 10346 – Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky pro tváření za studena – Technické dodací podmínky
- ČSN EN 10348-2 – Ocel pro výztuž do betonu – Pozinkovaná betonářská ocel – Část 2: Pozinkované ocelové výrobky pro výztužování betonu

9. Kvalita – kontrola, zkoušky a opravy

Žárové zinkovny jsou dnes certifikovány podle ISO 9000. Měřítkem pro hodnocení kvality povlaku žárového zinku je obvykle jeho tloušťka a vzhled, jak je uvedeno v normě ČSN EN ISO 1461. Aby byl výše uvedený požadavek splněn, musí zákazník zinkovně poskytnout údaje o kvalitě oceli a o zvláštním požadavku na tloušťku povlaku (viz obr. 8-1).

Pro dosažení co nejlepšího výsledku při zinkování je vhodné ve fázi navrhování konstrukce konzultovat konstrukční řešení se zinkovnou.

9.1 Tloušťka

Při kusovém zinkování se často používá měření tloušťky povlaku magnetickou metodou podle platné normy. Je rychlé, snadné, nepoškozuje výrobek ani jeho povrchovou úpravu. Obr. 9-1 ukazuje magnetický tloušťkoměr při práci.

Při sporech se používá vážková metoda. V případě arbitráží se obvykle používá mikroskopická metoda.

9.2 Vzhled

Normálně má být žárově zinkovaný povrch bez viditelných defektů – bublin, výčnělků, zinkového popela, zbytků tavidla a nepozinkovaných míst. Hrudky, kapky a tlusté stečence se nepřipouštějí, pokud mohou ovlivňovat použití výrobku. Pozinkovaný výrobek by měl být čistý a bez vad.

Protože vzhled povrchu závisí na obsahu křemíku v zákaznickem použité oceli, může se povrch skládat z temnějších šedých oblastí, vzorů ze šedých linií mezi světlejšími oblastmi nebo lesklých, stříbřitě zbarvených oblastí.

Vlastnosti povlaku jsou výsledkem spolupůsobení faktorů, které jsou převážně mimo vliv zinkovny. Je důležité, aby zákazník i zinkovna byli vzájemně informováni o požadavcích na funkčnost povlaku. Zvláštní požadavky na rovnoměrnost a vzhled povlaku by se měly prodiskutovat už ve fázi nabídky.



Obr. 9-1 – Měření tloušťky povlaku.

9.3 Přílnavost

Za přílnavost povlaku se běžně považuje schopnost snášet mechanické zatížení, tj. ohýbání, skružování a tvarování. Tyto operace jsou důležité pro zpracování plechu a drátu, zatímco nároky na kusově zinkované zboží jsou menší.

Struktura zinkové vrstvy je taková, že některé povlaky snesou větší mechanické zatížení než jiné. V současné době neexistují vhodné normy ISO pro zkoušení přílnavosti zinkových povlaků nanesených ponorem. Přílnavost mezi zinkem a podkladovým kovem obvykle není nutné zkoušet, protože postačující spojení je pro zinkování ponorem charakteristické.

9.4 Opatření při vadách

Podle rozsahu a druhu vad se volí příslušná opatření. Pokud nepozinkovaná místa tvoří více než 0,5 % celkové plochy, mělo by se podle normy zinkování zopakovat, pokud nebude se zákaznickem dohodnuto jinak.

Při posuzování rovnoměrnosti zinkového povlaku je třeba si uvědomit, že žárově zinkování se provádí ponorem do roztaveného kovu, který musí při vytahování z lázně stéci z povrchu. Různé části jednoho výrobku jsou proto v zinkové tavenině ponořeny delší nebo kratší dobu, což se projeví v různých tloušťkách.

Bílá rez, koroze zinkového povrchu, není důvod k reklamaci. Často vzniká v důsledku manipulace, až když zboží opustí zinkovnu. Bílá rez zpravidla nevyžaduje žádná opatření, protože zmizí pod vlivem prostředí, jakmile se výrobek vystaví vnějšímu prostředí.

Menší odchylky, které nejsou závažné pro funkci nebo podstatně neruší vzhled, by se neměly opravovat. Pilování nebo broušení zinkové vrstvy často napáchá více škody než užitku.

9.5 Opatření při poškození – opravy

Při opravě poškozených míst se musí dbát na to, aby korozní odolnost byla přinejmenším taková jako u původního nepoškozeného povlaku. Pro dosažení takové korozní odolnosti je nejdůležitější dokonalé očištění poškozeného povrchu.

Při odloupenutí nebo odprýsknutí zinkové vrstvy na povrchu oceli zůstávají zbytky fází gamma a delta o celkové tloušťce 5 až 10 μm . V tomto případě stačí lehké okartáčování nerezovým kartáčem k odstranění eventuálních korozních produktů. Poté se na poškozené místo nanese nátěr s vysokým obsahem zinku (nad 92 % zinkového pigmentu). Aplikace komerčně dostupných prostředků ve spreji poskytuje pouze omezenou tloušťku povlaku, řádově 5 μm , proto se nástřik musí několikrát opakovat. Nanášení štětcem poskytne povlak o vyšší tloušťce. Měření by mělo prokázat, že povlak má průměrnou tloušťku 100 μm . Při probroušení vadného místa se postupuje stejně.

Pokud by očištění vadného místa kartáčem bylo nedostatečné, je třeba použít broušení nebo tryskání.

Při čištění se musí nedostatečně přilnavý zinek na rozhraní mezi nedotčenou zinkovou vrstvou a vadným místem odstranit, jinak hrozí nebezpečí jeho pozdějšího odloupenutí.

Pokud se vady objeví ihned po vytažení ze zinkové lázně, kdy je zboží ještě teplé, je vhodným způsobem opravy použití zinkové pájky. Černá, tj. nepokovená místa se mohou opravit obroušením a použitím zinkové pájky.

U duplexních povlaků je zvlášť důležité, aby byla oprava provedena profesionálně. Přechody mezi vadným místem a kvalitním zinkovým povlakem by měly být hladké a rovnoměrné, protože „hranové efekty“ se následujícím nátěrem ještě zvýrazní.

Po svařování pozinkované oceli je svar nepozinkovaný. Po obou stranách svaru se navíc část zinkového povlaku odpaří.

Opravy ploch svařovaných po zinkování by se měly provést co nejdříve, jinak začnou korodovat. Vhodný způsob je očistit povrch kartáčem z korozivzdorné oceli a natřít nátěrem s vysokým obsahem zinku.

Pokud se na povrchu tvoří červená rez, mělo by se čištění před nátěrem provést broušením nebo tryskáním.

10. Koroze zinkových povlaků

Ocel je v současnosti nejužívanějším materiálem. Bohužel má velkou nevýhodu, a tou je její velká korozní rychlost. Ochrana výrobků a konstrukcí z oceli má proto velký význam.

Protikorozní ochrana zinkem patří mezi účinné a vhodné technologie. Zinkové povlaky chrání dvojím způsobem:

- bariérovým působením – brání přístupu kyslíku a vlhkosti k povrchu oceli,
- katodickou ochranou v místech porušení jako jsou škrábance, odloupenutí, střížné hrany atd.

Zinek je neušlechtilý kov s velkým sklonem ke korozi. Že je přesto jeho korozní rychlost ve většině prostředí nízká, je dáno tím, že se povrch zinku rychle pokrývá korozními produkty, které chrání proti další korozi.



Obr. 10-1 – Exponovaný povrch zinkového povlaku. Lesklý povrch mizí a je nahrazen šedými korozními produkty, často nazývanými zinková patina.

10.1 Koroze v atmosféře

Jakmile zároveň zinkovaný výrobek opustí zinkovací lázeň, hned reaguje se vzdušným kyslíkem a na jeho povrchu se tvoří oxid zinečnatý. Proces dále pokračuje. Působením atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého ze vzduchu se tvoří zásadité uhličitany zinku, které jsou konzistentní a mají vynikající přilnavost. Protože uhličitany jsou navíc velmi málo rozpustné ve vodě, tvoří dobrou ochranu pro zinkovaný povrch (15). Ovzduší ale obsahuje také oxid siřičitý, který přetváří zásaditý uhličitan zinečnatý na snáze rozpustný siřičitan zinečnatý nebo na síran zinečnatý.

Vrstva zinku, která byla vystavena několik měsíců atmosféře, získává matnou, světle šedou barvu (obr. 10-1).

V přímořském prostředí nebo v prostředí ovlivňovaném zimní údržbou je koroze zinku také ovlivňována obsahem soli ve vzduchu. V mořském vzduchu se však vyskytují i malá množství hořčnatých solí, které mají dobré pasivační vlastnosti. Koroze proto není tak rychlá, jak by se očekávalo. Na pobřeží směrem do vnitrozemí obsah soli rychle klesá.

Koroze zinku je ovlivněna mnoha faktory, proto není možné pro jeho korozní rychlost vytvořit jednoduchý vzorec. Nicméně zinkové povlaky se jako ochrana oceli proti korozi používají za nejrozumnějších podmínek již dlouhou dobu. Zkušenosti s korozí zinku a její rychlostí v různých prostředích jsou dobré. Existují příklady zinkových povlaků, které byly vystaveny prostředí po dobu více než sto let.

10.1.1 Bílá rez

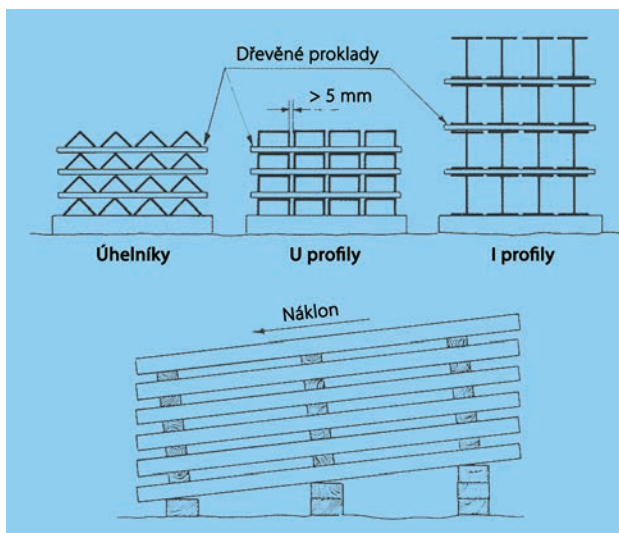
Často se na zinkovaném povrchu tvoří bílý, „moučnatý“ a objemný povlak, který se nazývá bílá rez (obr. 10-2). Bílá rez se tvoří na pozinkovaném zboží tam, kde zůstává na povrchu dlouho stát kondenzovaná nebo dešťová voda. Může k tomu dojít ve šterbinách, například mezi plochami na těsně poskládaném zboží. Plochy, ke kterým má vzduch dobrý přístup a na nichž se tvoří běžná ochranná vrstva, jsou napadeny zřídka. Napadení zpravidla končí zajištěním volného přístupu vzduchu. Zbývá bílá rez se po čase odstranit působením povětrnostních podmínek. Zinkový povrch pak získá vzhled běžný pro žárový zinek.



Obr. 10-2 – Bílá rez vytvořená mezi materiálem naskládaným na sebe.

Často má korozní napadení bílou rzí pro ochranu oceli proti korozi jen malý nebo téměř žádný význam. Pro velmi tenké povlaky, například na elektroliticky pozinkovaných výrobcích, může být větší napadení významné z hlediska životnosti a funkčnosti.

Bílé rzi se dá nejlépe předejít tím, že se během skladování a dopravy zabrání kontaktu čerstvě zinkovaných povrchů s kondenzovanou nebo dešťovou vodou. Vzniku problému se zabrání skladováním čerstvě pozinkovaného zboží po několik dnů pod střechou nebo jeho poskládáním tak, aby měl vzduch k jeho povrchu ze všech stran dobrý přístup a voda mohla odtékat (obr. 10-3).



Obr. 10-3 – Ochrana proti bílé rzi spočívá v ukládání zboží s proklady, aby vzduch mohl ke všem plochám. Zboží se ukládá s náklonem, takže nemůže dojít k hromadění vody.

Již vytvořená bílá rez se odstraňuje jemným mechanickým nebo chemickým opracováním. Podle norm pro žárové zinkování není bílá rez považována za důvod k reklamaci v zinkovně.

10.1.2 Červenohnědé zabarvení

Křemíkem uklidněná ocel, která obsahuje v zinkové vrstvě velký podíl slitinových fází železo – zinek, může po nějaké době expozice získat červenohnědý barevný odstín, jenž se s dobou expozice prohlubuje. Fáze železo – zinek korodují, přičemž se uvolňuje železo, které s vlhkostí ze vzduchu nebo dešťovou vodou tvoří rez. Rez má značnou schopnost zbarvovat. I malé množství může způsobit zabarvení (obr. 10-4).



Obr. 10-4 – Červenohnědé zabarvení.

Výrazné zabarvení se dá považovat za známku toho, že je korozní ochrana snížena nebo už není vůbec žádná. To však platí málokdy. Slitiny železo – zinek chrání ocel lépe než čistý zinek. Bylo pozorováno až 30% snížení korozní rychlosti (16). Zabarvený povrch je možné – pokud se to vyžaduje ze vzhledových důvodů – opatřit nátěrem. Zabarvený stožár pouliční svítilny, který byl vystaven prostředí po dobu 30 let, měl na sobě ještě 70 μm povlaku, což je dostatečné pro dalších cca 50 let životnosti.

10.2 Koroze ve vodách

Podobně jako při korozi na vzduchu se po ponoření zinkového povrchu do vody většinou vytvoří ochranná vrstva korozních produktů. Vody mohou být kyselé nebo alkalické a obsahovat rozpuštěné nebo pevné agresivní látky. Velký význam má i rychlost proudění a teplota vody. Tyto faktory společně působí tak, že ochranná vrstva může mít nejrozumnější složení anebo se nemusí vytvořit vůbec.

Elektrochemická koroze, která na vzduchu hraje druhořadou roli, má ve vodách velký význam. V závislosti na elektrické vodivosti vody dochází k elektrochemické korozi, a tím i ochrannému působení zinkové vrstvy na větší či menší část povrchu.

Největší význam má hodnota pH dané vody. Rychlost koroze zinku je běžně relativně nízká a stabilní v rozsahu pH mezi 5,5 a 12,5 a při teplotách mezi 0 a 20 °C.

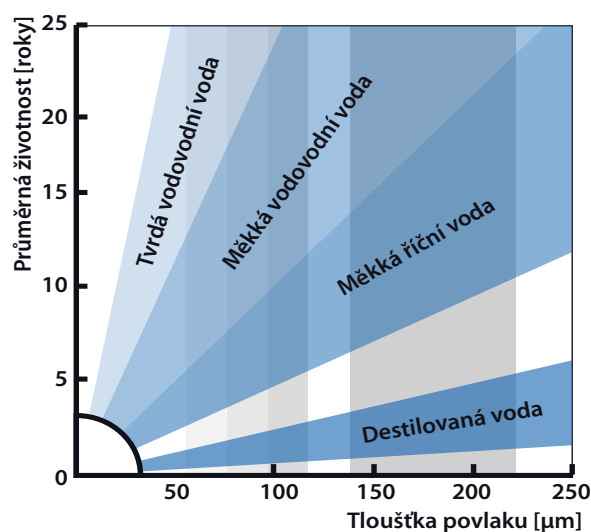
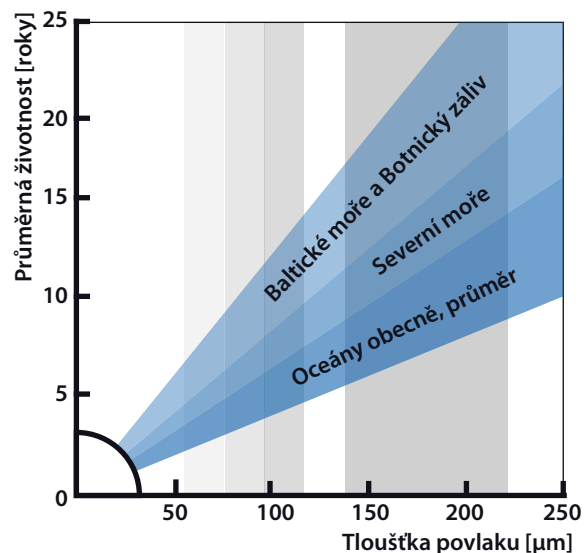
Tvrdé vody, které obsahují vápník a hořčík, jsou jen málo agresivní. Tyto látky tvoří spolu s kyselinou uhličitou na povrchu zinku těžko rozpustné uhličitany, a tvoří tak stabilní ochrannou vrstvu, která brání další korozi.

Měkké vody často zinek napadají, protože v nich soli chybějí a ochranná vrstva se nemůže vytvořit. V méně běžných případech může také dojít ke změně polarity mezi zinkem a ocelí, takže se ocel stane v tomto článku anodou (rozpuštějící se elektroda). V takovém případě vzniká nebezpečí bodové koroze. Změna polarity je potlačována kyselinou uhličitou, sírany a chloridy. Nedochází k ní například v mořské vodě, ale může k ní dojít ve velmi čisté vodě.

Pokud proudí voda rychlostí vyšší než 0,5 m/s, brání vzniku ochranné vrstvy na povrchu zinku a koroze je rychlejší.

Teplota má pro korozi ve vodě velký význam. Při překročení teploty cca 55 °C získává ochranná vrstva korozních produktů hrubozrnnou strukturu a ztrácí přilnavost k povrchu zinku. Korozní produkty snadno odpadávají a odhalují nový, čistý povrch zinku pro další napadení.

Korozní rychlost má maximum při cca 70 °C a dále pak klesá, takže při 100 °C je stejného řádu jako při 50 °C.



Obr. 10-5 – Střední doba životnosti různě tlustých zinkových povlaků v různých vodách.

Z uvedeného vyplývá, že mechanismus koroze ve vodě je velmi složitý a je těžké mu přiřadit jednoduchá pravidla. Jsou však praktické zkušenosti a obr. 10-5 udává směrné hodnoty pro několik různých typů vody. Pro další informace lze použít reference (17, 18, 19, 20).

Pravděpodobnost koroze zinkového povlaku v distribučních systémech lze odvodit podle normy ČSN EN 12502-3. Pro posouzení lze použít software (www.acsz.cz).

10.3 Koroze v půdě

Půdy obsahují 15–35 % vody. Toto rozmezí kolísá v určitých časových intervalech, v souvislosti s měnicími se meteorologickými podmínkami. Závisí rovněž na charakteru konkrétní půdy, na její pórovitosti, propustnosti, schopnosti vodu zadržovat, na jejím sklonu k vysychání či k převlhčení, množství srážek a výparu. Půdní voda je tvořena vodou dešťovou i prosakující spodní vodou. U většiny půd se hodnota pH pohybuje v intervalu hodnot 5–9.

Druh půdy	Agresivita
vápencová, vápencový slín, morénová, pískovcový slín	malá
píscitá, štěrkovitá	střední
jílovitá, rašelinná, slatinná, bohatá na humus	velká

Obr. 10-6 – Korozní agresivita různých typů půdy.

Základní informace o korozním chování kovů lze získat z ustanovení ČSN EN 12501 Ochrana kovových materiálů proti korozi – Pravděpodobnost koroze v půdě. Norma je sice určena pro úložná zařízení, ale obecné posouzení pravděpodobnosti koroze kovových konstrukcí lze použít i pro kotvící části pozemních staveb. Posouzení zahrnuje:

- parametry půdy (pH, obsah solí, obsah vody, měrný odpor, homogenita, složení),
- charakteristiky nechráněné konstrukce (materiál, geometrie, provozní podmínky),
- činitele prostředí.

Norma ČSN EN 12501 se vztahuje pouze k půdám a zásypovým materiálům v přímém styku s konstrukcí. Koroze konstrukce v dané půdě záleží na mnoha parametrech specifických pro každou konstrukci, jako je například geometrie, složitost a provozní podmínky.

Pro stanovení „obětované“ tloušťky materiálu pro požadovanou návrhovou životnost konstrukce 75 a 100 let) umístěné v půdě je vhodné vycházet z maximálních předpokládaných úbytků na základě korozních rychlostí:

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| – zinek (první 2 roky) | 15 $\mu\text{m}.\text{r}^{-1}$ |
| – zinek (další expozice) | 1–8 $\mu\text{m}.\text{r}^{-1}$ |
| – uhlíková ocel | 10–20 $\mu\text{m}.\text{r}^{-1}$. |

Číslo	Agresivita	Stav půdy	Odpor [Ωm]	Způsob ochrany
1	malá	suchá	> 100	žárové zinkování >200 μm
2	malá	vlhká	> 450	žárové zinkování >200 μm
3	mírná	suchá	< 100	žárové zinkování >200 μm a s přídavkem na korozi 0,5 mm na základním materiálu
4	mírná	vlhká	150 až 450	jako u č. 3
5	vysoká	vlhká	50 až 150	žárové zinkování >200 μm a s přídavkem na korozi 1 mm na základním materiálu
6	velmi vysoká	vlhká nebo taková, kde se může tvořit kyselina sírová	< 50 až 100	žárové zinkování >200 μm a s přídavkem na korozi 1,5 mm na základním materiálu

Obr. 10-7 – Korozní agresivita pro různé hodnoty odporu půdy s návrhem vhodné protikorozní ochrany.

10.4 Galvanická koroze

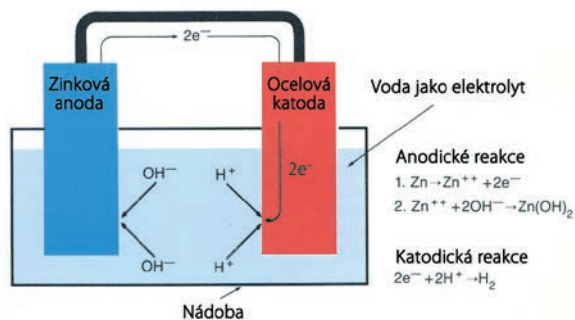
Jestliže se spojí dva různé kovy, které jsou zcela nebo alespoň částečně obklopeny elektrolytem, vytvoří se galvanický článek. Který z kovů bude anodou a který katodou, je určeno jejich elektrochemickým potenciálem v odpovídajícím prostředí. V mořské vodě zauímají různé kovy a jejich slitiny v potenciálové řadě kovů místa uvedená na obr. 10-8.

Vyšší potenciál Ušlechtilější kovy	↑	Zlato Stříbro Korozivzdorná ocel (18/8) Nikl Monel ($\frac{2}{3}$ Ni, $\frac{1}{3}$ Cu) Hliníkový bronz (95 % Cu, 5 % Al) Měď Mosaz Cín Olovo
Nižší potenciál Méně ušlechtilé kovy	↓	Litina (nelegovaná) Ocel (nízkolegovaná) Uhlíková ocel (válcovaná) Kadmium Hliník Zinek Hořčík

Obr. 10-8 – Potenciálová řada kovů v mořské vodě při 25 °C.

Pokud se ocel spojí s mědí nebo mosazí, stane se ocel anodou a bude korodovat. Pokud se naopak spojí se zinkem, kadmíem nebo hořčíkem, stane se ocel katodou a je chráněna před korozí, zatímco kov anody se spotřebovává (obráz. 10-9).

Princip elektrochemické (bimetalické) koroze je používán při protikoroziční ochraně konstrukcí umístěných ve vodě. Označuje se jako katodická ochrana.



Obr. 10-9 – Galvanická koroze zinku v kontaktu s ocelí ve vodě.

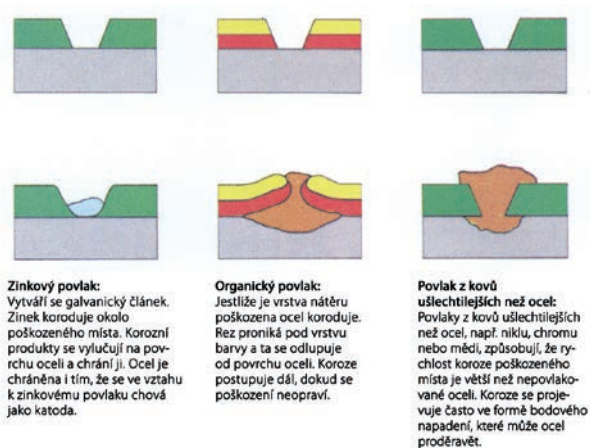
10.4.1 Katodická ochrana zinkovým povlakem

U zároveň zinkované oceli mají zinek a ocel vzájemně dobrý elektrický kontakt. Jestliže je zinkový povlak poškozen, dojde za přítomnosti vlhkosti (elektrolyt) ke vzniku galvanického článku. V článku je zinek anoda (rozpuštěný se pól), zatímco volný povrch oceli je katoda a je chráněn.

V úvodním stádiu je možné na volném povrchu oceli pozorovat slabou tvorbu rzi. Protože zinek koroduje, vylučují se na místě poškození málo rozpustné zinečnaté sloučeniny a chrání ocel před dalším napadením (obráz. 10-10). Tento jev se často nazývá self-healing – samoobnovitelná ochrana, což ale není přesný výraz, protože zinkový povlak se nijak zpětně nevytváří.



Obr. 10-10 – Stopa široká 6 mm, která se vyleptala v povlaku o tloušťce 60 µm až k povrchu oceli. Vzorek byl pět let exponován v náročném, průmyslově přímořském prostředí v Nizozemsku. Za povšimnutí stojí povlak zinečnatých solí ve stopě, stejně jako absence průniku rzi.



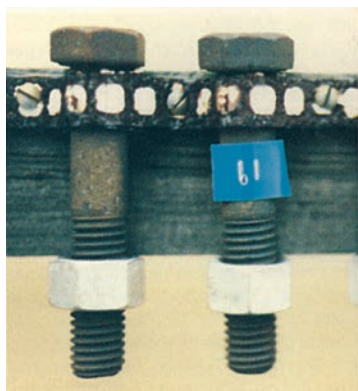
Obr. 10-11 – Schematický obrázek vzniku poškození u různých typů protikorozičních ochranných povlaků.

Díky katodické ochraně, kterou zinek poskytuje, nemůže rez pronikat pod povlak a způsobovat poškození takového charakteru, jako je tomu u organických povlaků nebo u povlaků z ušlechtilějších kovů (obr. 10-11).

Povlaky zinku na oceli v tomto směru poskytují natolik účinnou katodickou ochranu, že i poškození povlaku (cca 2 mm) nevede k významnému zhoršení protikorozní ochrany.

10.4.2 Zinkové povlaky v kontaktu s jinými kovy než ocel

Jak je vidět z obr. 10-8, je zinek méně ušlechtilý než většina běžně užívaných kovů – to znamená, že je zinek chrání před korozi. Pokud je zinkový povlak ve styku s jiným kovem, je významný rozdíl elektrochemických korozních potenciálů těchto dvou kovů. V případě některých kovů, může v prostředí s vyšší korozní agresivitou dojít k bimetalické korozi, tj. výraznému lokálnímu zvýšení korozní rychlosti zinku. Jednou z metod zabránění tomuto koroznímu napadení je použití nevodivé mezivrstvy z plastu nebo pryže.



Obr. 10-12 – Žárově zinkované šrouby s maticemi z korozivzdorné oceli po 15 letech expozice v přímořském prostředí. Zanedbatelná galvanická koroze.



Obr. 10-13 – Mosazný šroub v žárově zinkované oceli způsobuje napadení zinku.

V atmosférických prostředích s nízkou korozní agresivitou se může hliník nebo korozivzdorná ocel přímo spojit s pozinkovaným materiálem, aniž by docházelo k patrné korozi (viz obr. 10-12). Je však třeba dávat pozor na to, aby plocha katody nebyla příliš velká ve srovnání s povrchem anody. Ve vodě by se vždy měla používat izolační mezivrstva.

Měď a slitiny mědi mají vyšší elektrochemický korozní potenciál než zinek a vyvolávají intenzivní napadení bimetalickou (galvanickou) korozi. Tyto kovy by proto neměly nikdy přijít do styku s pozinkovanou ocelí bez izolační mezivrstvy (obr. 10-13 a 10-14). Toto korozní napadení mohou vyvolat i ionty mědi uvolněné z povrchu mědi a/nebo slitin mědi, které by stékaly na povrch pozinkované oceli.



Obr. 10-14 – Původně pozinkované kotvící oko na měděné střeše.

10.5 Žárově zinkovaný materiál v kontaktu se stavebním materiálem

Armovaný beton je v současných konstrukcích významný materiál. V mnoha případech nepotřebuje armatura zvláštní ochranu proti korozi. Alkalické prostředí v betonu vytváří na oceli tenký oxidický film, který ji „pasivuje“ nebo chrání proti další korozi.

Často se však stává, že tato „pasivace“ nefunguje nebo funguje špatně.

K tomu dochází například, když:

- beton má praskliny, spáry, inkluze písku nebo tenkou krycí vrstvu,
- došlo k neutralizaci alkality,
- dochází k pronikání chloridů (solení nebo přímořská atmosféra).

To platí hlavně pro tzv. povrchové armování. Poškození na armovaném betonu rostou, mj. vinou zvyšujícího se solení a rostoucích nečistot v ovzduší. K poškozování různých betonových konstrukcí dochází častěji, než se očekávalo (obr. 10-15). Jestliže u armatury již dojde ke korozi, jsou nápravná opat-



Obr. 10-15 – Odlupování krycí vrstvy betonu nad armaturou v důsledku koroze.



Obr. 10-16 – Žárově zinkovaná armatura v mostní konstrukci.

ření velmi obtížná a nákladná. U určitých typů aplikací je stále naléhavější potřeba chránit armaturu proti korozi.

10.5.1 Protikorozní ochranná vrstva pro armovací oceli

Vhodnost užití žárověho zinkování k ochraně ocelových armatur potvrzuje jejich praktické využívání v mnoha zemích. Řada štíhlých stavebních konstrukcí má pozinkovanou armaturu právě kvůli ochraně proti praskání, které následně vede k nákladné údržbě. Je třeba poukázat i na bezpečnostní rizika z opadávajícího betonu, zvláště v hustě obydlených oblastech.

Některé postupy zinkářům předepisují nezinkovat ty části armatur, které budou ponořeny do betonu. Kromě toho, že je toto opatření zcela zbytečné, jsou často náklady na částečné pozinkování vyšší než na normální postup. Důvodem pro částečné zinkování může být názor, že přilnavost mezi žárově zinkovaným povrchem a betonem je špatná. Podrobnější zkoušky však dokázaly, že přilnavost mezi zinkem a betonem je v mnoha případech tak dobrá, že je k jejich oddělení třeba použít kladivo (21).

Již dlouho se zinek používá jako obětovaná anoda k protikorozní ochraně lodních trupů, přístavních zařízení, cisteren atd. Z dosažitelných kovových povlaků se žárově zinkovaná vrstva ukazuje jako nejtrvanlivější a technicky vhodná. Žárově zinkování armovací oceli do betonu se využívá již mnoho let na celém světě. I ve velmi náročných podmínkách se tato povrchová úprava ukazuje jako spolehlivá.

Podrobné výzkumy, například v Austrálii a v Korozním institutu ve Stockholmu (21), ukázaly, že žárově zinkování poskytuje následující výhody:

- Zvýšená koroze v čerstvě odlitém betonu probíhá max. 36 hodin po zabetonování. Potom se zinková vrstva pasivuje. Úbytky zinku jsou malé (2 až 5 μm).
- Zinek poskytuje exponované oceli katodickou ochranu, což má výhodu při stříhání, svařování nebo mechanických působeních na armaturu.
- Přilnavost mezi armovací ocelí a betonem je dobrá.
- Nedochází k praskání betonu.
- Jsou eliminována rizika pronikání rzi do betonu.
- Armovaný beton se dá použít i v agresivnějším prostředí.
- Proměnlivá kvalita betonu, například špatné zhutnění, se snáze toleruje.
- Mohou se použít tenčí krycí vrstvy.

10.5.2 Žárově zinkované armatury v prostředí chloridů

Praktické zkoušky provedené v Korozním institutu ve Stockholmu ukázaly, že zinek se velmi dobře hodí pro prostředí s obsahem chloridů. Do obsahu 1,5 % chloridů v betonu je koroze zinku nevýznamná, zatímco nepovlakovaná ocel se s touto koncentrací vypořádá mnohem obtížněji. Zinek odolává i vyšším obsahům chloridů podstatně lépe než ocel, nicméně jeho životnost klesá. Ocel bez povlaku podléhá navíc také bodové korozi, která se u zinku nevyskytuje. Dokonce i v zásaditém betonu se pozinkovaná ocel chová lépe než ocel bez povlaku.

Žárově zinkovaná ocel tvoří spolehlivý základ v dobré technologii betonování. Snižuje korozní rizika hrozící ocelové konstrukci, a tím i poškození betonu. Tím podstatně – a z hlediska nákladů účinně – přispívá k životnosti betonu.

Když se náklady a jejich důsledky pro korozní poškození stavby analyzují, protikorozní ochrana žárovým zinkováním je vždy spojena s vyššími náklady. Na žárové zinkování je možné se dívat jako na jakousi jednorázově zaplacenou pojistku.

I když může být cena žárově zinkované armovací oceli až o 50 % vyšší než u oceli bez povlaku, přesto je tento nárůst – ve srovnání s celkovými náklady na stavbu – malý. Při provedení stavby jsou tyto vícenáklady zpravidla nevýznamnou částí celkových nákladů.

10.6 Balení a transport žárově zinkovaného zboží

I když povlak na žárově zinkovaném zboží snese nešetné zacházení, je třeba zacházet s ním rozumně. Jednoduché balení a svázání dlouhých výrobků poskytuje nejen ochranu proti mechanickému poškození, ale má i dopravně-technické výhody. Prokládání je třeba provádět tak, aby balení umožňovalo přístup vzduchu k povrchu výrobku (viz obr. 10-17 a 10-18).



Obr. 10-17 – Žárově zinkované zboží připravené k dodávce zákazníkovi.



Obr. 10-18 – Způsob balení zboží, který umožňuje provzdušnění a chrání před nárazem.

11. Nátěry žárově zinkované oceli – duplexní systém

Zkušenosti ukazují, že tzv. duplexní systém – žárové zinkování a nátěr (obr. 11-1) – je vzhledem k prodloužení doby do první opravy z hlediska nákladů nejúčinnější způsob ochrany oceli proti korozi pro požadovanou životnost. I když žárové zinkování samo často poskytuje zcela uspokojivou protikorozi ochranu, může být v určitých agresivních prostředích třeba jejího zesílení. Duplexní systém je vhodný, pokud je obtížně proveditelná budoucí údržba nebo pokud je zinkový povlak tenký, jako je tomu u kontinuálně zinkovaného plechu.

Dalším důvodem, proč dát matně šedému zinkovému povrchu lesklý barevný vzhled, mohou být estetické a bezpečnostní požadavky. Příkladem je výstražné nebo varovné značení nebo naopak maskování. Dalším použitím je ochrana proti galvanické korozi. Nátěr tvoří nevodivou mezivrstvu, pokud se má pozinkovaná ocel spojovat s jiným kovem, například mědí.



Obr. 11-1 – Maják Pater Noster je jednou z prvních švédských konstrukcí s duplexním povlakem. V roce 1868 byl žárově pozinkován a potom opatřen nátěrem.

11.1 Životnost duplexního systému

Duplexní systém má zpravidla mnohem delší životnost než jeden i druhý povlak samostatně. Nizozemské výzkumy (22) ukazují, že životnost systému je možné spočítat podle jednoduchého vzorce:

$$L_T = K(L_{Zn} + L_F),$$

kde

L_T je životnost duplexního systému v letech,

L_{Zn} je vypočtená životnost zinkového povlaku pro dané prostředí,

L_F je vypočtená životnost organického povlaku pro dané prostředí provedeného na oceli,

K je synergický faktor pro dané prostředí, za který se dosadí:

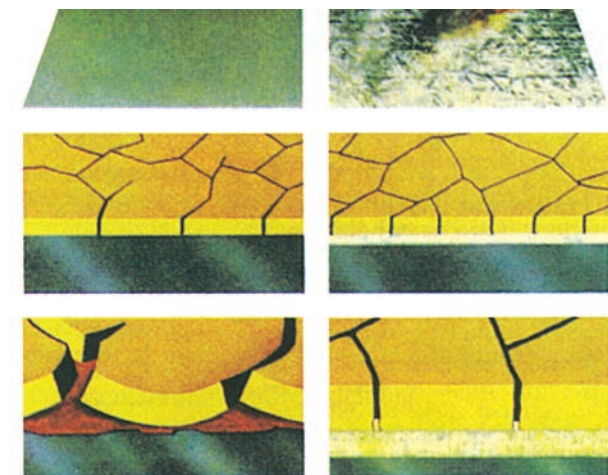
- 1,5 jestliže je systém vystaven prostředí C5 nebo je trvale ponořen do mořské vody,
- 1,6–2,0 pro vystavení v prostředí C3 až C4 nebo pro dobu ovlhčení menší než cca 60 %,
- 2,1–2,3 při vystavení v prostředí C2.

Jak tento synergický efekt vzniká vyplývá z obr. 11-2. Předpokladem je dobrá a trvalá přilnavost organického povlaku k povrchu zinku. To vyžaduje, aby byl povrch zinku pečlivě očištěn a zvolen správný typ nátěrového systému. Nátěr na zinku je z určitého pohledu náročnější než na ostatních materiálech. Malé množství nečistot na povrchu nebo špatný typ nátěrové hmoty může již po krátké době způsobit tvorbu puchýřů nebo odlupování.

Dříve se často doporučovalo, aby se zinkový povrch exponoval rok či dva roky ve vnějším prostředí a až potom se opatřil nátěrem. Toto doporučení bylo jistě správné do 50. let minulého století. Tehdy bylo ovzduší – přinejmenším v severských státech – relativně čisté a korozní produkty, které se vytvářely na povrchu oceli, byly tvořeny téměř výhradně zásaditými uhličitany zinečnatými.

Po určité době expozice se proto nátěr nanášel nikoliv na reaktivní povrch zinku, ale na inertní vrstvu uhličitánů. Výsledek byl většinou dobrý i s nátěrovými systémy, které by již dnes byly považovány za nevhodné na zinek. V současnosti by tato metoda byla velmi nejistá. Nezávisle na druhu nátěrové hmoty je výsledkem tvorba puchýřů a odlupování.

Pro uspokojivé očištění se musí specifikovat stav povrchu zinku.



Obr. 11-2 – Vlevo: Schematický obrázek ukazuje, jak mikrotrhlínky v nátěrovém systému vytvářejí na oceli předpoklady pro podkorodování a odlupování. Vpravo: Mikrotrhlínky v nátěrovém systému na pozinkovaném materiálu se zaplní korozními produkty zinku, které mají menší objem než rez na oceli, a nezpůsobují proto odlupování.

11.2 Čerstvě pozinkované lesklé povrchy

Kovově lesklý zinkový povrch se často považuje za dostatečně čistý k provedení nátěru. V mnoha případech tomu tak není a výsledkem může být selhání.

Z pohledu nanášení organického povlaku na čerstvě pozinkovaný povrch je vhodné, aby výrobek:

- Nebyl chlazen ve vodě. Chladicí voda je zřídka kdy čistá. Různé soli se mohou usazovat na zinkovém povrchu a později zhoršovat nebo zcela znemožnit přilnavost naneseného nátěru.
- Nebyl po vytažení ze zinku skladován v prostoru zinkovny. Ovzduší zde obsahuje větší nebo menší množství dýmu z tavidla (částice chloridu zinečnatého a amonného). Tyto částice ulpí na povrchu zinku a tvoří ve vodě snadno rozpustný film. Nátěr nanesený na tento film se vyznačuje výrazně sníženou přilnavostí.
- Nebyl při skladování nebo převážení ve venkovním prostředí vystaven vlhké atmosféře. Riziko kondenzace vlhkosti, která způsobuje vznik bílé rzi, je veliké. Množství bílé rzi není v některých případech tak velké, aby bylo pozorovatelné prostým okem.
- Nebyl skladován více než šest hodin mezi zinkováním a aplikací nátěru. Doba je přirozeně závislá na tom, jak čistý a suchý je vzduch ve skladovacím prostoru.

„Čerstvý“ povrch zinku není tak čistý, jak by se podle jeho lesku zdálo. Tenké vrstvy olejů nebo tuků z rukavic, obuvi, nosných lan atd. mohou navíc ještě zvyšovat dojem lesklého a čistého povrchu. Výše uvedené nečistoty jsou v běžné tloušťce průhledné a prostým okem nepozorovatelné.

V případě aplikace duplexního systému se nedoporučuje provádět dodatečné protikorozní úpravy zinkovaného zboží (pasivace, konzervace).



Obr. 11-3 – Odlupování vrstvy nátěru dané špatnou předúpravou před provedením nátěru (22).

11.3 Exponované matné povrchy

Exponované matné povrchy zinku jsou vždy pokryty korozními produkty, které obsahují vodou rozpustné nebo hygroskopické soli, a tvoří tak naprosto „nevhodný“ podklad pro nátěr.

Nátěry jsou vždy více nebo méně vodopropustné. To znamená, že pokud nebyly ve vodě rozpustné produkty z povrchu zinku odstraněny, tvoří se pod vrstvou barvy puchýře naplněné roztoky solí. Zinkový povlak v těchto puchýřích koroduje. Koroze se šíří mezi nátěrem a zinkem a dochází k podkorození a odlupování vrstvy NH.

11.4 Čištění a předúprava

Podle získaných zkušeností poskytuje sweepování povrchu zinku nejlepší podklad pro nátěr s dobrou přilnavostí. Pečlivé mechanické opracování odstraní z povrchu všechny korozní produkty a ostatní nečistoty, včetně vodou rozpustných. Účinně se odstraní bílá rez.

Mnohé zinkové povlaky jsou velmi lesklé a hladké. Pro tyto povlaky je tryskání také vhodné, protože zvyšuje drsnost, a tím i plochu povrchu, což zlepšuje mechanické ukotvení nátěrové vrstvy.

Doporučené parametry pro sweepování pozinkovaných povrchů jsou na obr. 11-4. Dodržování těchto parametrů je důležité. Nedostatečné čištění způsobuje špatný výsledek aplikace nátěru. Na druhé straně příliš silné mechanické opracování poničí zinkovou vrstvu nebo vytvoří vnitřní pnutí, které může později způsobit odlupování vrstvy nátěru. Při správně provedeném sweepování se odstraní cca 10 µm zinkového povlaku.

Tryskací prostředek	Oxid hlinitý, korund, křemičitany, olivín, struska
Velikost zrna	0,2 až 0,5 mm
Tlak vzduchu v trysce	0,2 až 0,3 MPa
Vzdálenost od povrchu	300 až 500 mm
Úhel tryskání	30 až 60 °
Podmínky prostředí	20 až 25 °C, rel. vzdušná vlhkost < 50 %
Drsnost povrchu	jemný podle ISO 8503/2 (G)
Základní nátěr	nejpozději 20 až 45 min po tryskání

Obr. 11-4 – Parametry pro sweepování žárově zinkovaného povrchu.

Další údaje o sweepování se dají najít v Příručce o ochraně nátěry proti korozi vydané Korozním institutem ve Stockholmu (23).

Pokud není možné provést sweepování, doporučuje se následující pracovní postup pro průmyslové lakování:

1. alkalické odmaštění,
2. pečlivý oplach vodou,
3. fosfátování (železnatý nebo zinečnatý fosfát),
4. pečlivý oplach vodou,
5. sušení,
6. lakování.

Určité výrobky se mohou ještě fosfátovat. To vyžaduje – kromě odmašťování – často ještě okartáčování nebo úpravu brusným prostředkem na bázi nylonu syceného korundem. Fosfátová vrstva musí být co nejtenčí, ale musí dobře krýt celý povrch. Za optimální se považuje plošná hmotnost 2 až 4 g/m², tj. tloušťka pod 1 µm.

Při ručním nátěru se doporučuje odmaštění pomocí emulgujícího odmašťovadla, často kombinovaného s kartáčováním nebo broušením pomocí nylonu, a pečlivý oplach vodou, nejlépe vysokotlakou. Mezi komerčními odmašťovacími prostředky jsou takové, které obsahují přísady rozpouštějící oxidy. To je výhoda v případě, kdy neznáme složení korozních produktů.

11.5 Volba nátěrového systému

Dále uvedené nátěrové hmoty je možné po očištění nanášet přímo na žárově pozinkovanou ocel. Pokud se mají použít jiné typy nátěrových hmot, je třeba nejprve na povrch zinku nanést vhodný základní nátěr, nejlépe epoxidový základ.

Při volbě nátěrové hmoty je důležité pamatovat na to, že nátěrová hmota může obsahovat i 10 až 15 různých komponentů. Každý výrobce má pro určitý typ nátěrové hmoty svou vlastní recepturu. Dodavatelé surovin mají také mnohé receptury pojiv, což má za následek velký počet různých variant. Nátěrové hmoty stejného typu, ale od jiných výrobců mohou mít při různém způsobu hodnocení poměrně dost odlišné vlastnosti. Níže uvedené pokyny je proto třeba považovat za obecné návody. Při pochybnostech je lepší výběr nátěrové hmoty projednat s techniky výrobce nátěrových hmot.

Pro vysokotlaké stříkání se většinou doporučují epoxidové, polyuretanové nebo chlorkaučukové nátěrové hmoty. Epoxidové nátěrové hmoty by měly být dvousložkové a vytvrzované polyamidem. Obsah sušiny by neměl být příliš vysoký – doporučená objemová koncentrace pigmentu je 28 až 33 %.

Nejběžnější je epoxidový základ. Ostatní typy nátěrových hmot – polyuretany nebo epoxidehtové nátěrové hmoty – se používají jako vrchní nátěry. Obecným pravidlem je, že by se vždy mělo konzultovat s výrobcem nátěrové hmoty, zda jsou základní a vrchní nátěr kompatibilní a nikdy nepoužívat základní a vrchní nátěr od různých výrobců. Negativní vlastností epoxidových nátěrových hmot je jejich sklon ke křídování.

Chlorkaučuk (CK) a dvousložkový polyuretan jsou z pohledu nátěrů na zinek citlivější na suroviny a složení nátěrové hmoty než epoxidy. Pro CK by měl být obsah pigmentů v rozmezí 26 až 30 %. Jako inhibující pigment je z důvodu tvorby bariéry nejvhodnější fosforečnan zinečnatý a hliník nebo oxid železitý. Polyuretanové nátěrové hmoty mají obsah pigmentů v rozmezí 30 až 35 % a jsou pigmentovány hliníkem nebo oxidem železitým.

Pro ruční nátěry jsou vhodné dvousložkové akrylátové polyuretany nebo krylem modifikované alkydy. Mohou být vhodné i latexové nátěrové hmoty na bázi akrylátů nebo polyvinylacetátu, které ale často nesplňují požadavky na tvrdost a přilnavost dříve než za 10 až 14 dní. Slibné jsou určité typy nátěrových hmot na bázi modifikovaného kaučuku nebo asfaltem modifikovaného kaučuku, které jsou především jednoduché na zpracování.

Hliníkem pigmentované roztoky asfaltu se používají pro konstrukce ve vodě, mají však malou mechanickou odolnost.

Obecně se nátěry výše popsanými systémy nemají provádět při teplotách pod 8 až 10 °C. Všechny nátěry schnou na vzduchu a urychlené zasychání je třeba provádět jen s velkou opatrností. Tloušťka vytvořeného povlaku by měla být cca 75 µm a místně by neměla klesnout pod 50 µm.

Co se týká vypalovacích a práškových nátěrových hmot a laminovaných povlaků, jejich použití by se mělo vždy konzultovat s výrobcem nátěrové hmoty. Nicméně na pozinkované zboží jsou stále častěji aplikovány různé typy práškových nátěrových hmot.

Volbu NH na žárově zinkované díly doporučujeme provádět dle specifikace ČSN EN ISO 12944-5.

12. Obloukové svařování pozinkované oceli – bodové svařování

Zinkovaná ocel se dá bez větších těžkostí svařovat stejným způsobem a stejnými metodami jako uhlíková ocel bez povlaku. Parametry pro svařování materiálu bez povlaku se však nedají vždy použít, protože povlak má určitý rušivý efekt na průběh svařování. Jak velký tento efekt je závisí na tloušťce zinkového povlaku, složení a struktuře.

Hlavní problémy jsou:

- větší rozstřík,
- menší průvar,
- zvýšená tvorba pórů,
- riziko tvorby mezikrystalických prasklin,
- zvýšený vývin dýmů.

12.1 Rozstřík, průvar, póry a praskání

Rozstřík je v první řadě problém při svařování v ochranné atmosféře MAG. Při spojování svařovaných částí v určitých polohách může rozstřík narušovat oblouk, nebo se také usazovat v hubici svařovacího hořáku a narušit proudění ochranného plynu. Částice rozstříknutého kovu mohou rovněž ulpět na povrchu materiálu v okolí svaru a zhoršovat jeho vzhled.

Průvar ve spoji se vlivem zinku snižuje, protože roztavený zinkový povlak na povrchu spoje narušuje energetickou stálost oblouku, což se projevuje změnou napětí, proudu a dynamiky oblouku.

Póry se tvoří tehdy, když se zinkové zplodiny a ostatní plyny nestačí odplynit z taveniny dříve, než ztuhne. Při práci s obalovanými elektrodami je tento problém menší. Při svařování MAG, zvláště v oboustranných koutových svarech, je jistá poréznost běžná.

Mezikrystalové praskání – dochází k němu ve svařovaném výrobku vlivem difuze zinku v přechodové oblasti svaru. K tomu může docházet u oboustranných koutových svarů na T-spoji u materiálu o tloušťce nad 13 mm při svařování obalovanými elektrodami. Při svařování MAG je kritická tloušťka materiálu již od 6,5 mm.

Opatření proti rozstříku, sníženému průvaru, tvorbě pórů a mezikrystalové praskavosti – problém se může eliminovat nebo omezit na vyhovující úroveň dodržováním jednoho nebo více následujících opatření:

- Používat přípravek proti rozstříku – zamezí se ztuhnutí kapek rozstříku na povrchu hubice a v okolí provedeného svaru při svařování MAG.
- Svařování provádět se spárou mezi svařovanými díly – 1,5 mm při svařování MAG a 2,5 mm při svařování obalovanými elektrodami. To zvýší průvar, sníží množství pórů a eliminuje riziko mezikrystalové praskavosti.
- Svařovat menší rychlostí. Elektrodou je třeba pohybovat podle spáry tak, aby se co nejvíce zinku odpařilo před taveninou. Snižuje to počet pórů a riziko vzniku mezikrystalových prasklin.
- U spoje tvaru T je třeba na stojině upravit svarové plochy na K-svar, nebo na půl V-svar. Tím se snižuje tvorba mezikrystalových prasklin a počet pórů vlivem zinku. To platí i pro nepozinkované tlustší plechy.

12.2 Volba elektrod

V první řadě se volí elektrody s nízkým obsahem křemíku. Tímto způsobem se u silnějšího materiálu snižuje riziko vzniku mezikrystalových prasklin ve spoji tvaru T. Vhodné typy elektrod jsou uvedeny na obr. 12-1.

12.3 Exhalace

Při svařování oceli bez povlaku se vždy tvoří exhalace, které mohou obsahovat různá množství oxidů železa, ozon, vodík, oxidy uhlíku, dusíku a fluoridy.

Při svařování a také řezání pozinkované oceli se navíc tvoří oxid zinečnatý. Při svařování je dosahováno teploty cca 1 600 °C. Při ní vzniká oxid zinečnatý jako bílá plynná sloučenina, která je – na rozdíl od dříve uvedených sloučenin – v exhalacích jasně viditelná.

Typ obalu	Označení ISO	Komentář
Rutil	E332 R22	
Rutil	E332 R32	
Rutil	E333 R12	
Rutil	E432 R32	
Bazický	E445 B20	Svařování koutových svarů se spárou
Bazický	E445 B26	
Pro svařování MIG	AWS/ASTM E60-S3	

Obr. 12-1 – Příklady elektrod pro svařování pozinkované oceli.

12.3.1 Škodlivost exhalací oxidu zinečnatého

Nadýchání se čerstvě vytvořeného oxidu zinečnatého může způsobit tzv. zinkovou horečku. Symptomy připomínají chřipku – jsou jimi horečka, zimničný třes, zvýšené vylučování slin, bolest hlavy a v horších případech nevolnost a zvracení. Zinek se však neukládá v těle stejným způsobem jako například olovo a kadmium, ale vylučuje se močí a stolicí. Symptomy zinkové horečky běžně zmizí během několika hodin. Trvalé následky nejsou známy.

12.3.2 Ochrana před exhalacemi ze svařování

Při každém svařování – ať již materiálu bez povlaku, či s povlakem – je třeba dbát na spolehlivé odsávání exhalací. Svářeči by neměli být vystaveni riziku, že se nadýchají exhalací ze svařování.

Ve venkovním prostředí se svařování může zpravidla provádět bez specifických opatření.

Ruční obloukové svařování pozinkované oceli je podrobněji popsáno v literatuře (24, 25).

12.4 Bodové svařování

Tato metoda, která se používá pro konstrukční ocel, se může použít i pro pozinkovaný materiál. Obecně platí, že parametry svařování jako doba, proud a tlak elektrod se oproti oceli bez povlaku zvyšují. Parametry svařování se musí volit tak, aby se ze svařovacího bodu odstranila zinková vrstva, jinak dojde pouze ke spájení zinkových vrstev. Vzhledem k tendenci zinku tvořit slitiny s mědí se musí elektrody čistit častěji než při svařování materiálu bez povlaku.

Vhodný materiál pro elektrody jsou slitiny měď – chrom nebo měď – chrom – zirkonium. Dobré výsledky se také dosahují s měděnými elektrodami s vložkami z tvrdokovu. Elektrodové kontaktní špičky by měly být ve tvaru komolého kužele s vrcholovým úhlem 120 až 140°. Pro životnost elektrod má velký význam chlazení.

Správně provedené bodové nebo švové svary není třeba nijak zvlášť chránit proti korozi.

13. Šroubové spoje

Žárově pozinkovat různé komponenty samostatně a potom je pospojovat šroubovými spoji má mnoho výhod. Jak žárově pozinkování, tak i doprava ze zinkovny na místo montáže se může provést výhodněji než u kompletně svařeného celku. Dále se dá předejít časově náročným opravám povrchů v místech, kde je zinkový povlak odpařený nebo poškozený po montážním svařování.

Kromě několika výjimek se dají pro výpočty a montáž materiálu s povlakem i bez povlaku použít stejná pravidla. Pro žárově zinkované konstrukce je třeba používat žárově zinkovaný spojovací materiál, aby měla celá konstrukce stejnou protikorozi ochranu. Pokud má šroub přenést větší pnutí, navoskují se závity a dosedací plochy těch prvků, kterými se při montáži otáčí.

13.1 Spojovací materiál

Průměrná tloušťka zinkového povlaku u žárově zinkovaného spojovacího materiálu se závity pod M10 je cca 40 μm a pro M10 a větší je cca 60 μm . Závity na maticích se nezinkují a jsou proti korozi chráněny zinkem na šroubu.

Spojovací materiál až do pevnostní třídy 8.8 se dodává běžně a materiál s pevnostní třídou 10.9 se dá získat na zvláštní objednávku. Vyšší pevnostní třídy se nemohou zinkovat z důvodu popuštění a rizika tvorby mezikrystalických prasklin.

13.2 Kontaktní plochy

BSK (4) udává následující hodnoty součinitele tření pro pozinkované povrchy:

- žárově zinkovaný povrch 0,15,
- žárově zinkovaný a otryskaný povrch 0,35,
- žárově stříkaný povrch, vrstva 50 μm 0,30.

Žárově zinkovaný povrch by se měl před použitím okartáčovat ocelovým kartáčem. Při tryskání povrchů se používá stejná technika a parametry tryskání, jak je uvedeno v kapitole 11.

13.3 Vrtání otvorů

Při použití žárově zinkovaných šroubů se zvětšuje průměr otvoru oproti běžné normě o 0,2 mm. Pokud se konstrukce žárově zinkuje až po vyvrtání otvorů, volí se průměr otvoru o 2 mm větší než jmenovitý průměr šroubu.

13.4 Montáž

Žárově zinkované šrouby v pevnostní třídě 8.8 se utahují plnou silou klíčem o délce držadla podle obr. 13-1 nebo strojově momentem podle stejné tabulky. Pro šrouby v pevnostní třídě 4.6 se hodnoty uvedené v tabulce snižují na polovinu.

Šroub – rozměr [mm]	Páka s ručním utahováním [mm]		Moment při strojovém utahování [Nm]	
	Šroub v dodaném stavu	Voskovaná matice	Šroub v dodaném stavu	Voskovaná matice
12	150	100	60	40
16	200	150	150	90
20	400	200	300	180
22	550	400	400	240
24	700	500	500	300

Obr. 13-1 – Páka a moment při normálním utažení u žárově zinkovaných šroubů v pevnostní třídě 8.8 (4).

14. Ekonomika žárového zinkování



Obr. 14-1 – Náklady na údržbu mají při volbě systému ochrany proti korozi největší váhu.

Porovnání nákladů různých systémů ochrany proti korozi není snadné. Je třeba zvážit mnoho faktorů jako jsou životnost, riziko poškození ochranného povlaku, prostředí atd. Dlouhá životnost zinkové vrstvy a minimální riziko, že malé poškození povede k patrnému snížení kvality protikorozní ochrany, způsobují, že i v delší časové perspektivě je žárové zinkování vždy ekonomičtější než ostatní metody povrchových úprav.

14.1 Vstupní náklady

Často je rozhodujícím faktorem při volbě protikorozní ochrany nákupní cena, což zvyšuje riziko, že se zvolí velmi špatná povrchová úprava, která s sebou v budoucnosti přinese velké náklady na údržbu.

Vstupní náklady na žárové zinkování se většinou odvíjejí od hmotnosti výrobků. Při porovnání je třeba brát v úvahu, že trubkové konstrukce získají povlak na vnitřním i vnějším povrchu, což se nestane například při natírání. Vztah mezi průměrnou tloušťkou stěny zboží a povrchem v m^2/t vyplývá z diagramu na obr. 14-2.

Při volbě protikorozní ochrany se často rozhoduje mezi žárovým zinkováním a nátěrem. Proto je důležitý vztah relativních vstupních nákladů pro nátěr a žárové zinkování uveden na obr. 14-3.

14.2 Náklady na údržbu

Udržování protikorozní ochrany může stát značnou sumu peněz, zvláště tehdy, pokud se provádí přímo na místě. Při údržbě pak vznikají nebo mohou vzniknout náklady z následujících činností:

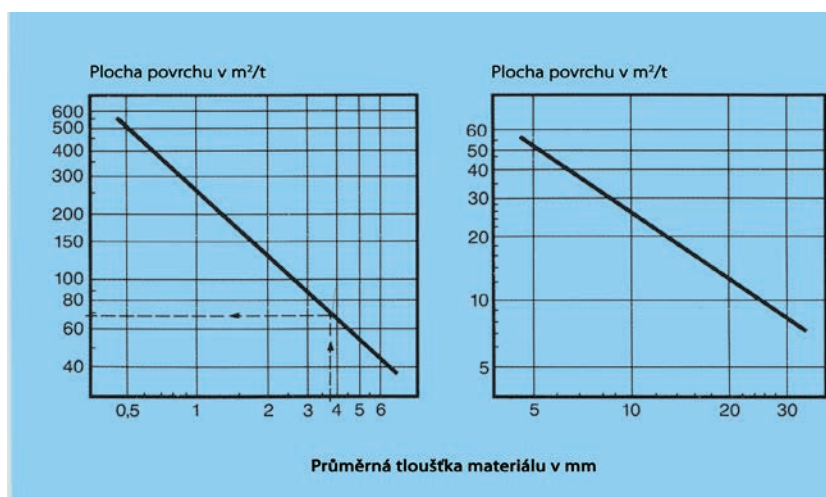
- odstranění staré protikorozní ochrany a rzi,
- výstavba lešení,
- likvidace staré protikorozní ochrany a náklady na skládkování,
- zvláštní opatření na těžko přístupných plochách,
- přerušení provozu,
- provedení nové protikorozní ochrany,
- náklady na dopravu.

Zanedbaná údržba ve formě sekundárních, případně následných škod může stát mnohem víc. Proto platí, že je třeba se hned od počátku snažit o omezení nebo úplné vyloučení nákladů na údržbu.

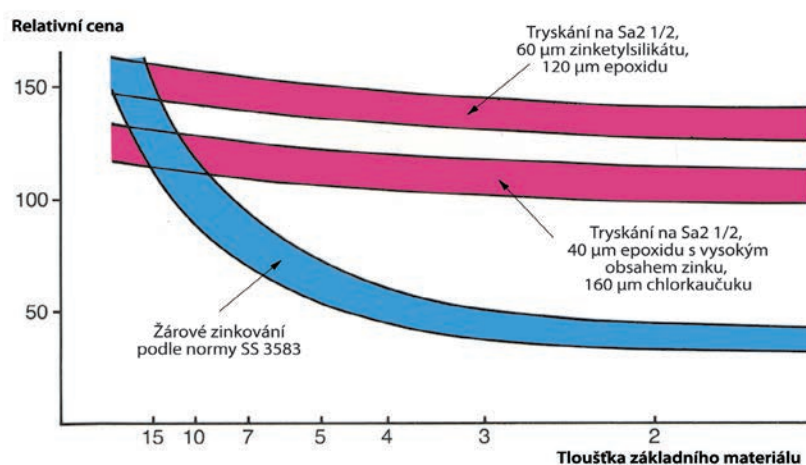
14.3 Náklady po dobu životnosti

Náklady po dobu životnosti jsou součtem všech nákladů na protikorozní ochranu, které vzniknou po dobu životnosti konstrukce. Volba protikorozní ochrany by měla být taková, aby náklady po dobu životnosti byly co nejnižší. Výpočet nákladů může být bez celkového přehledu náročný. Obr. 14-4 dává přehled těchto nákladů, jestliže korozní podmínky odpovídají stupni korozní agresivity C4 podle BSK (4).

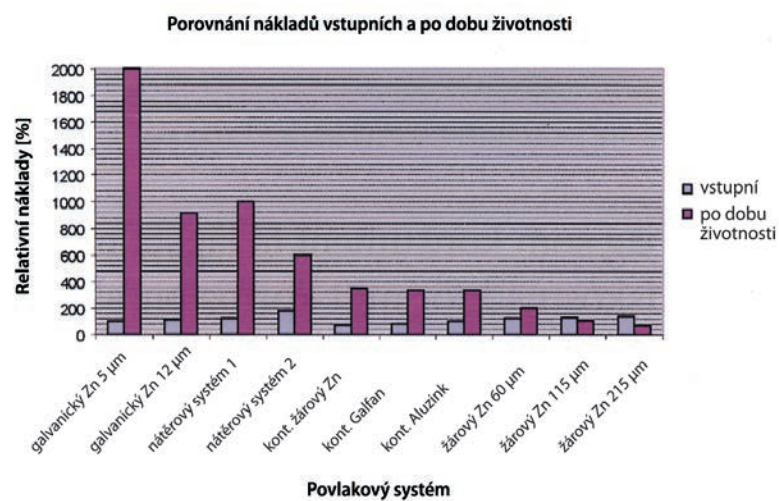
Volba povrchové úpravy s dlouhou životností a nízkými náklady po dobu životnosti znamená významný příspěvek k ochraně životního prostředí, protože se šetří suroviny a energie a snižují emise oxidu uhličitého. Použitý zinek se dá snadno recyklovat a znovu použít.



Obr. 14-2 – Přepočet tloušťky stěny zboží na povrch v m²/t.



Obr. 14-3 – Poměr ceny mezi žárovým zinkováním a nátěrovým systémem o různých tloušťkách.



Obr. 14-4 – Porovnání vstupních nákladů a nákladů po dobu životnosti pro různou protikorozi ochranu.

15. Zinek v životním prostředí

15.1 Obecně

Zinek je světlý, šedomodrý, snadno tvárný kov s hustotou $7,14 \text{ g/cm}^3$. Je přirozeným prvkem a v pořadí zastoupení v přírodě zaujímá 24. místo. Uvádí se, že průměrný obsah zinku v půdách je 70 mg/kg . V těžitelné podobě se zinek nachází jako sulfid zinečnatý (sfalerit).

Pokud je zinek vystaven vlhkému vzduchu, tvoří se na jeho povrchu tenká vrstva hydrogenuhličitanu. Vrstva je málo rozpustná ve vodě a částečně chrání zinek před další korozí. V přítomnosti vyšších koncentrací oxidu siřičitého se na povrchu tvoří síran zinečnatý. Síran zinečnatý je ve vodě vysoce rozpustný a dá se snadno smýt, proto je korozi vystavován stále nový povrch zinku. Obsah oxidu siřičitého ve vzduchu se v posledních 30 letech v Evropě, ve Švédsku i v Česku výrazně snížil a dnes dosahuje velmi nízkých hodnot (viz obr. 1-2).

V přítomnosti organických látek tvoří zinečnaté ionty komplexy, například s aminokyselinami, peptidy, proteiny a nukleotidy. Především triolové a hydroxylové skupiny, stejně jako dusíkaté ligandy jeví afinitu (přitažlivost) k zinku. Tato afinita k biomolekulám je základem jeho významné role esenciálního (životně důležitého) prvku pro všechny typy organismů. Je známých 300 různých enzymů, ve který zinek hraje katalytickou, strukturální nebo regulační roli. Mimo jiné jsou bílkoviny obsahující zinek hlavním faktorem při regulaci přepisů DNA v buněčném jádru. Zinek hraje důležitou roli v řadě dalších funkcí buňky, například v udržování strukturální integrity buněčné stěny, při vazbách receptorů hormonů a při přenosu signálů v nervovém systému.

15.2 Zinek v organismech

Člověk potřebuje pro udržení životně důležitých funkcí 12 až 15 mg zinku denně.

Znamená to, že Švédové zkonzumují 50 tun zinku za rok. Bohužel, mnozí lidé ve světě trpí nedostatkem zinku, který se například u dětí projevuje průjmami či zhoršeným růstem.

Zinek je obsažen v hojivých mastech, pleťových krémech, dětských zásypech, léčivech, opalovacích olejích atd. Pro zvířata i lidi je zinek důležitý pro mozkové funkce, imunologickou ochranu a rozmnožování.

Nedostatek zinku se u rostlin projevuje výrazně horším přírůstkem. Aby se tomu zabránilo, přidávají se tisíce tun zinku do půdy hnojením. Zvířatům, například selatům, se přidává zinek, aby se zlepšila imunitní reakce, hojení ran, přírůstek a kůže. Pouze na to se ve Švédsku spotřebuje cca 70 tun zinku za rok.

Ve většině systémů pro hodnocení nebezpečnosti látky pro životní prostředí se bere jako hlavní kritérium bioakumulace. Běžně se vyjadřuje jako bioakumulační faktor dané látky (BCF) a stanovuje se experimentálně pomocí organismů žijících ve vodě. Jestliže je hodnota BCF vyšší než 100, je bioakumulační potenciál tak velký, že se považuje za nebezpečný pro životní prostředí. Pokusný organismus, který je vystaven nízkému obsahu zinku ve vodě, stahuje a akumuluje více zinku, aby byla uspokojena jeho potřeba, což má za následek vyšší hodnotu BCF. Jestliže se stejný pokusný organismus vystaví vyššímu obsahu zinku ve vodě, pohlcuje zinek méně, a následkem toho se získá nižší hodnota BCF.



Obr. 15-1 – Člověk potřebuje 12 až 15 mg zinku denně, aby mohl odolávat infekcím.

Pro látky, jejichž pohlcování a ukládání v živých organismech se řídí rozvinutým regulačním mechanismem, ztrácí hodnota BCF opodstatnění. To platí i pro životně důležité kovy.

Je to patrné z dále uvedených údajů. Hodnota BCF životně důležitých kovů může mít jakkoliv vysokou hodnotu, přesto se obsah uvedených kovů v tkáních mění jen málo:

- a) V mlži se po osmi dnech expozice hodnota BCF pohybuje mezi 600 a 55 000. Obsah zinku v tkáních těla se i přes takto vysokou hodnotu mění pouze o faktor 2.
- b) U jednoho druhu hlemýžďe se po osmi dnech expozice hodnota BCF pohybuje v rozmezí 1 100 až 9 000. Obsah zinku v tkáni jednoho hlemýžďe se mění o faktor 2.

15.3 Oblasti použití

Zinek se používá především jako protikorozi ochrana oceli ve formě kovového povlaku nebo kovového prášku (pigmentu) v nátěrové hmotě. Je obsažen v mosazi nebo jiných slitinách zinku. Zinečnaté soli se používají ve velmi různorodých oblastech jako jsou léčiva, masti, prostředky pro ochranu dřeva, sušidla, flotační činidla, prostředky na čištění kůží, katalyzátory, přídavky do potravin a krmiv, aditiva do paliv atd. Oxid zinečnatý je jednou z nejběžnějších chemikálií, která se používá v gumárenství, kosmetice, farmakologii atd.

Skoro 70 % zinku se ve Švédsku používá na ochranu proti korozi. Velká část tohoto množství vstupuje do žárového zinkování za studena válcovaného plechu a konstrukčních dílů. Roční spotřeba zinku, který se do Švédska dováží převážně z Norska a Finska, činí 35 000 tun.

15.4 Výroba a spotřeba energie

Zinek se vyrábí z rudy – sfaleritu, který se po rozdrvení, obohacení a pražení rozpouští v elektrolytu. Zinek, získaný například ze šrotu a dalších surovin, se rozpouští přímo v elektrolytu. Pomocí elektrického proudu se zinek vylučuje z elektrolytické lázně na hliníkových deskách. Zinek se z desek sloupne, roztaví a posléze odlíje do podoby cihel, v nichž se dodává. Při žárovém zinkování se používá zinek o čistotě 99,995 %. Zbylých 0,005 % tvoří především železo.

Úřad pro životní prostředí ve Švédsku spočítal měrnou spotřebu energie na výrobu primárního zinku a zjistil, že je (vztaženo jak k hmotnosti, tak k objemu) ve srovnání s ostatními základními kovy s výjimkou železa nejnižší. Údaje jednoho z výrobců zinku uvádějí, že spotřeba energie na výrobu tuny zinku je 12 až 13 GJ. Zinek recyklovaný z pozinkovaného plechu vyžaduje pouze 5 % této energie. Proto má zinek – ve srovnání hospodaření s přírodními zdroji – mezi ostatními základními kovy velmi výhodnou pozici.

15.5 Recyklace

Při žárovém zinkování vznikají odpady – sekundární suroviny – jako jsou tvrdý zinek, zinkový popel a prach z filtrů, ze kterých se recyklací získá prakticky veškerý zinek.

Z recyklovaného zinku je dnes pokryto 35 % jeho roční spotřeby. Doba oběhu zinku je 30 až 40 let, což znamená, že přibližně 80 % z dostupného zinku se získá zpět. Zpět se nedají získat spotřebované chemikálie a zinek zkorodovaný při ochraně oceli. Týká se to jak zinkového pigmentu v nátěrové hmotě, tak i kovových povlaků.

Zinek je možné stále recyklovat, aniž by se znehodnotil. Znamená to, že zinek má své místo ve společnosti s trvale udržitelným rozvojem. Protikorozi ochranou oceli, která má životnost řadu desetiletí, se šetří železná ruda, energie, doprava a také se snižují emise, především oxidu uhličitého.



Obr. 15-2 – Až 80 % zinku se opět využívá.

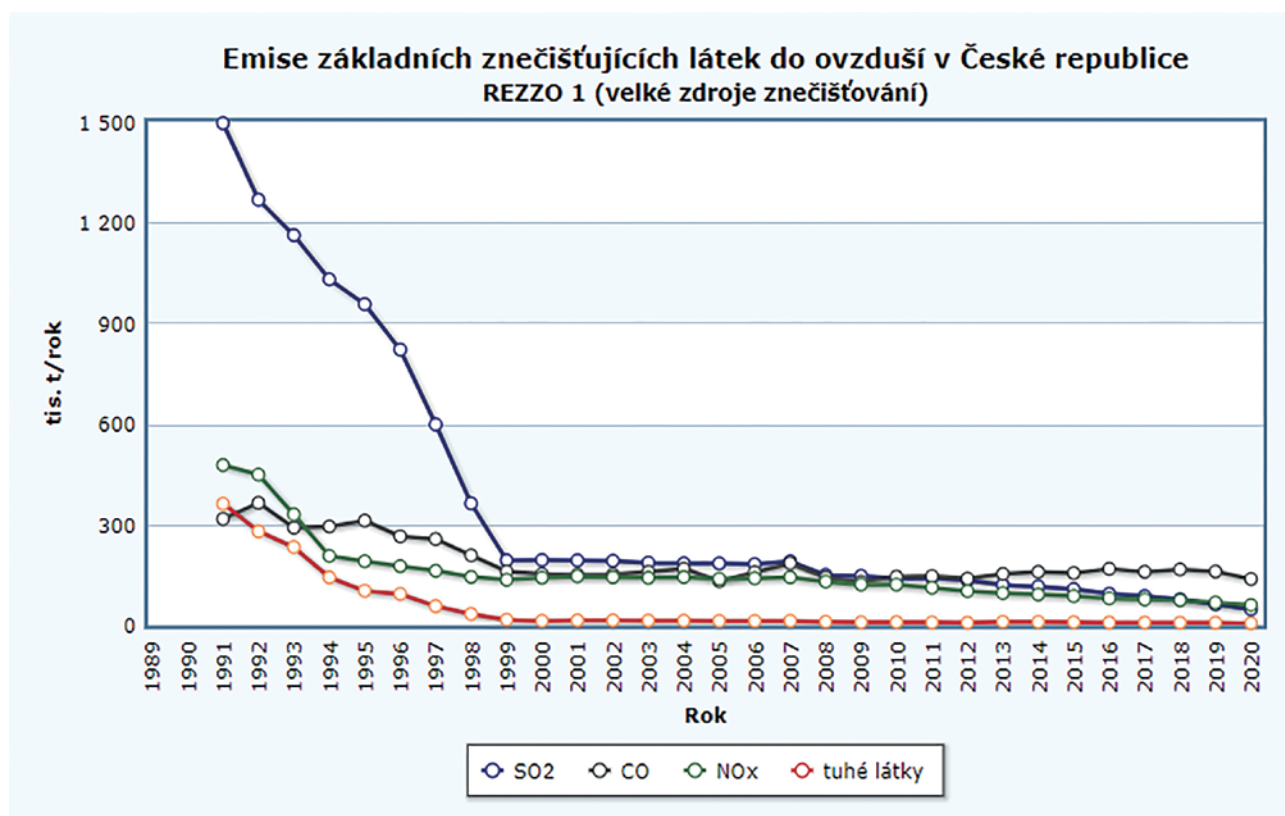
15.6 Emise zinku

Emise jsou v zinkovnách pečlivě kontrolovány, aby nebylo poškozováno životní prostředí. Technologie žárového zinkování spadá pod ustanovení směrnice EU o integrované prevenci a omezování znečištění – zákon 76/2002 Sb. o integrované prevenci (IPPC 96/61/EC) do kategorie 2.3.c. Pro tuto kategorii byl vydán dokument BREF Výroba a zpracování železa, kde je část B nazvaná Kontinuální linky žárového pokovování a část C Pokovování zinkem po vsázkách (diskontinuální pokovování).

Obr. 15-3 ukazuje, jak se za posledních 30 let změnila emise do ovzduší. Snížení emisí do ovzduší je 10násobné (28).

Difuzní zdroje

Difuzní emise pocházejí hlavně z koroze, z dopravy (pneumatiky, asfalt, brzdové obložení) a z komunálního odpadu. Velká část pochází také ze srážek, kde se projevují emise dalších zemí. Trend je klesající a v posledních deseti letech se difuzní emise snížily o 40 %. Nejvýznamnější příčinou je snižování obsahu oxidu siřičitého v atmosféře v celé Evropě.



Obr. 15-3 – Emise do vzduchu se za posledních 30 let snížily 10násobně.

16. Deklarace ochrany životního prostředí

16.1 Ochrana životního prostředí v oboru

Pracovníci skandinávských, dánských a islandských žárových zinkoven jsou sdruženi v oborové organizaci – Severském zinkářském svazu. Servisní organizace svazu – společnost Zinc Info Norden AB – zaměřuje svou činnost především na technologii žárového zinkování a na studium ekologických aspektů týkajících se zinku.

Členové oborového svazu provádějí svou činnost podle základního ekologického zákona a vypracovali:

- ekologickou politiku,
- hodnotící zprávu o životním prostředí,
- posouzení chemických látek,
- kontrolu vnějšího a vnitřního prostředí,
- specifikaci požadavků podle SNV – obecné požadavky na žárové zinkování.

16.2 Produkty

Při žárovém zinkování součástí a konstrukcí se zboží ponoří do roztaveného zinku při cca 455 °C (nizkoteplotní zinkování) nebo při cca 550 °C (vysokoteplotní zinkování), přičemž se tvoří slitina zinku a železa. Při nízkoteplotním zinkování je tloušťka slitinové vrstvy závislá na složení oceli, především na obsahu křemíku. Slitinová vrstva je běžně 70 až 125 µm tlustá, ale dá se nanést i tlustší. Tenká vrstva je zpravidla kovově lesklá, zatímco tlustší je většinou matně šedá.

Žárové zinkování se používá k ochraně oceli proti korozi (tvorba rzi). Ve venkovním prostředí a s výše uvedenými tloušťkami může protikorozní ochrana fungovat často více než 50 let. Žárové zinkování se používá u většiny výrobků, u nichž je třeba dosáhnout spolehlivé a dlouhodobé protikorozní ochrany s nízkými náklady. Při životnosti více než 50 let bez nutnosti údržby jsou náklady po dobu životnosti u žárově zinkovaných výrobků velmi nízké.

Žárově zinkovaný povrch je možné ještě opatřit nátěrem (duplexní systém), a tak prodloužit životnost protikorozní ochrany, protože zinek a nátěr se vzájemně chrání. Povlak žárového zinku poskytuje oceli – na rozdíl od nátěru – katodickou ochranu, která způsobuje, že vrrypy a trhlinky v zinkové vrstvě nekorodují.

Složení produktu

Pro žárové zinkování se používá zinek kvality SHG (Special High Grade), který obsahuje minimálně 99,995 % zinku. Obsah železa je cca 0,003 %, olova < 0,001 % a kadmia < 0,0003 %. Zinek se prodává ve formě ingotů o hmotnosti 1 nebo 5 t a vkládá se do zinkové lázně, kde taje při 419 °C.

Kromě zinku se do lázně přidává hliník, jehož obsah je několik tisícín procenta. Dříve se přidávalo i olovo, avšak tento kov se dnes z ekologických důvodů nahrazuje jinými.

Při žárovém zinkování se tvoří tvrdý zinek, což je sloučenina železa a zinku s cca 97 % zinku, a také zinkový popel, který obsahuje cca 70 % zinku. Z obou produktů se zinek získává zpět. Dále se zpracovává vypořebená mořicí lázeň nebo hydroxidový kal, ze kterých se také získává železo a zinek. Ve velké míře pracují zinkovny jako uzavřené systémy a několik zbytkových produktů se recykluje.

16.3 Balení a doprava

Žárově zinkované zboží se balí svázané nebo proložené. Díly s rovnými plochami se nemají balit tak, aby ležely těsně na sobě, protože déšť nebo kondenzovaná voda ve spárách může na povrchu zboží vytvořit bílou rez (korozní produkt zinku).

Povlak žárového zinku je vůči poškozením při transportu odolnější než například nátěr. Pozinkované výrobky se přepravují především nákladními auty. V zimním období je důležité, aby bylo vozidlo při dopravě kryté a zboží nebylo vystaveno například působení posypové soli.

16.4 Recyklace materiálu a spotřeba energie

Pozinkované výrobky se dají recyklovat nebo znovu zinkovat, protože ocel je po ukončení užití výrobku zcela netknutá. Z pozinkovaného materiálu se dá zinek recyklovat jako oxid zinečnatý zachycený ve filtru v hutí.

Zinek se snadno recykluje a v současnosti se 36 % recyklovaného zinku využívá na novou výrobu.

Spotřeba energie na výrobu jedné tuny zinku z rudy činí 13 GJ (podle Outokumpu Oy). Při výrobě sekundárního zinku je tato hodnota pouze 0,65 GJ, což znamená, že zinek je z hlediska výroby jedním z nejlevnějších kovů. Znamená to také, že vliv výroby na životní prostředí je menší než u jiných kovů.

16.5 Výroba

Žárové zinkování ponorem se provádí v ČR a SR v přibližně 26 a 11 různých velkých zinkovnách. Většina z nich má certifikát kvality a ochrany životního prostředí. Žárové zinkování se často provádí – v závislosti na velikosti a množství zboží – manuálně. Existují i automatická zařízení pro větší série a menší rozmezí velikostí zboží.

16.5.1 Emise do ovzduší

Při ponořování do zinkové lázně vznikají prachové částice, které se shromažďují ve filtrech. Tento prach se používá k regeneraci tavidla. Nevznikají žádné exhalace s obsahem oxidu uhličitého nebo oxidy dusíku. Při žárovém zinkování v uzavřených zařízeních jsou emise zinku do vzduchu jen minimální.

16.5.2 Emise do vody

Oplachová voda, používaná mezi jednotlivými kroky předúprav při žárovém zinkování, se běžně v procesu znovu využívá a nevypouští se. U automatizovaných zařízení je možné se vodnímu oplachu vyhnout. Zboží se chladí vodou, která se následně čistí.

16.5.3 Využití energie

Při žárovém zinkování je spotřeba energie při jednosměnném provozu 600 až 650 kWh, při trojsměnném provozu 350 kWh na tunu oceli. Hospodaření s energií je mimořádně důležité. Rekuperované teplo z ohřevu zinku a chladicí lázně se mimo jiné využívá k vytápění místností. Většina procesních lázní pracuje za pokojové teploty.

16.5.4 Hluk a zdraví

Hluk ze zařízení je zpravidla nízký a neovlivňuje okolí.

Po téměř 200 letech užití žárového zinkování v praxi lze konstatovat, že nebyly zjištěny žádné negativní vlivy na zdraví, dokonce byly pozorovány i pozitivní efekty.

16.6 Ekologický profil

Ekologický profil udává průměrné hodnoty spotřeby energií a surovin, které proces žárového zinkování spotřebovává/produkuje při tvorbě povlaku (místní odchylky je možné zanedbat). Hodnoty jsou vztaženy na tunu pozinkované oceli:

Zinek	60 až 70 kg
Energie, jednosměnný provoz	600 až 650 kWh
Energie, třisměnný provoz	350 kWh
Oxid uhličitý	0 kg
Oxid dusičitý	0 kg
Kyselina chlorovodíková	15 kg
Tavidlo	2 až 3 kg
Voda	malé objemy, které se zpětně čistí

Odpadní produkty:

Tvrđý zinek	10 kg
Popel	15 kg
Prach z filtrů	0,3 kg
Hydroxidový kal (vysušený)	5 kg

Řízení ekologie

Žárové zinkovny řadu let aktivně pracují v oblasti životního prostředí. Tato činnost zahrnuje hospodaření s energiemi a surovinami, omezování emisí a zpracování odpadních produktů vhodných k recyklaci. Proces se vyvíjí tak, aby byl šetrný k životnímu prostředí a lidem.

V každé zinkovně je osoba zodpovědná za ekologii. Jsou zpracovávány rutinní postupy práce s procesními lázněmi a procesními chemikáliemi. Jednotlivé procesy v zinkovně jsou průběžně dokumentovány a vydává se o nich roční zpráva.

16.7 Zinek v životním prostředí

Zinek je životně důležitý prvek, který je v malém množství pro mnohé organismy nezbytný. Člověk potřebuje asi 15 mg na den, což znamená, že například Češi a Slováci spotřebují asi 50 t zinku ročně. Pokud se podíváme na lidstvo v celku, pak je toto množství 30 000 t ročně.

Antropogenní emise do vody a vzduchu se za posledních 30 let snížily 10×. Emise zinku do vzduchu a do vody z oboru povrchových úprav jsou v současnosti tak malé (2 až 3 t za rok), že další opatření pro snižování jsou ekonomicky sotva zdůvodnitelná.

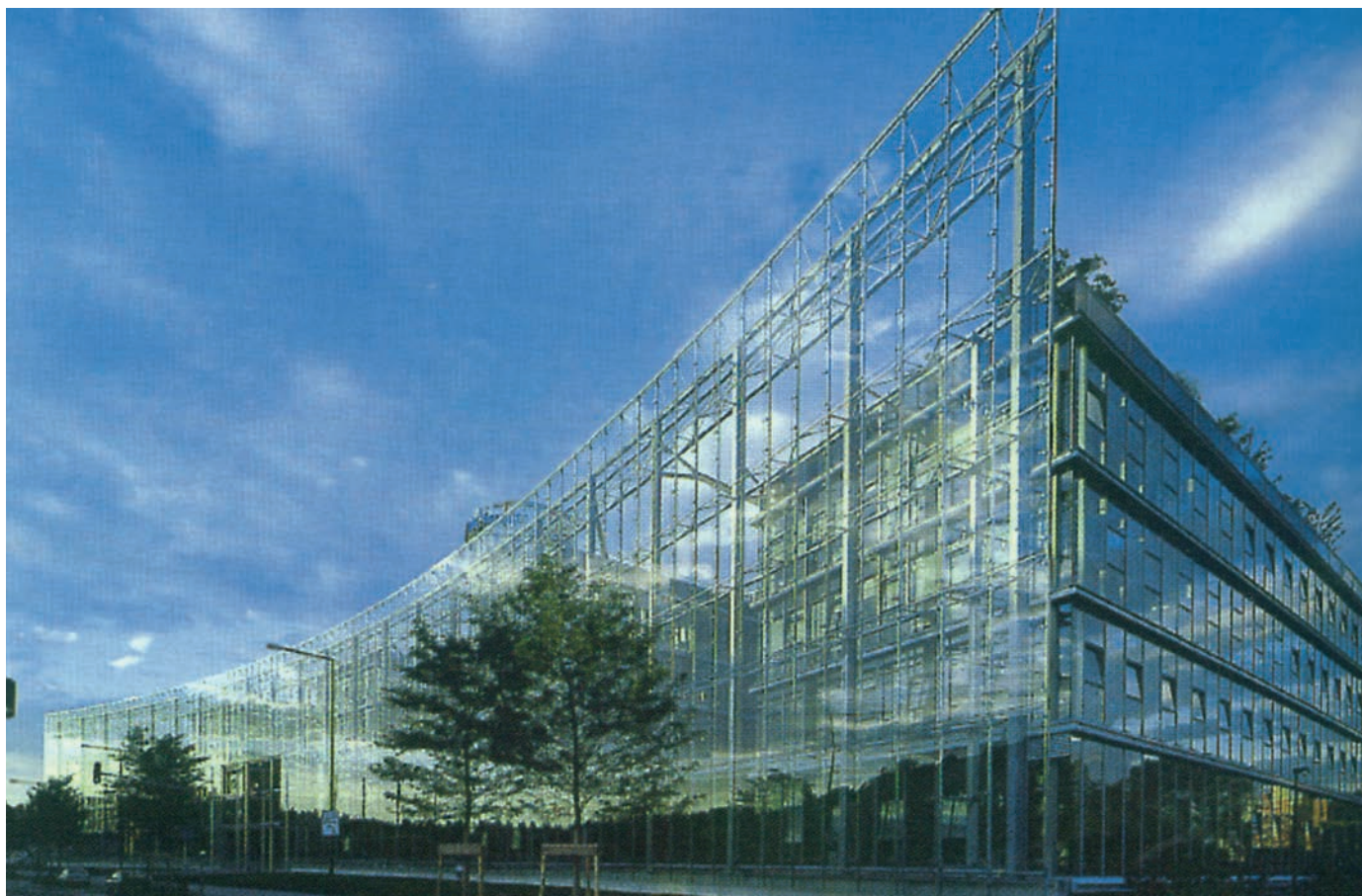
Měření zinkového spadu (obsah zinku v mechu) dnes ukazuje hodnoty 40 až 50 mg/kg, což je méně než hodnota přirozeného pozadí, které se ve Švédsku pohybuje průměrně kolem 70 mg/kg suché půdy. Úřad pro životní prostředí ve Švédsku zvýšil hranice dovoleného obsahu zinku v půdě na 100 mg/kg (v kraji kolem Mälarenu až na 150 mg/kg, tj. 100% nárůst). Všechna měření a zkoumání ukazují silné snížení obsahu zinku v našem prostředí, mnoho oblastí má dnes zinku nedostatek. Aby se tomu zabránilo, ročně se na polích rozptýluje cca 1 000 t zinku.

Větším bodovým zdrojem emisí zinku jsou důlní odvaly. Zvláště kolem Falunu se uvolňuje zinek, aniž by se na tomto místě kdy těžil. V důsledku toho je v této oblasti velmi vysoký obsah zinku v jezerech (celkem cca 400 mg/l). Pro porovnání lze uvést, že říční voda obsahuje cca 4 mg/l. I při tak vysokém obsahu zinku nebyly zveřejněny žádné zprávy o poškození organismů v těchto jezerech.

Landner a Lindeström ve své knize Zinek – pramen, nebo hrozba? (26) uvádějí, že i přes vysoké celkové obsahy zinku na určitých místech chybí údaje o tom, že by byl pro okolí nebezpečný. Vysvětlením může být, že se zinek rychle váže do sloučenin a mineralizuje, proto je jeho biologicky akumulovatelný podíl velmi nízký.

17. Literatura

1. Wranglén, G.: Metaller korrosion och ytskydd, Almqvist & Wiksell, Stockholm 1967
2. Mattson, E.: Elektrokemi och korrosionslära, Bulletin nr 100, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1987
3. Svendenius, G., et al.: Korrosion och korrosionsskyddläromedelsserie, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1977
4. Mapa atmosférických korozních rychlostí zinku na území České republiky, SVÚOM s.r.o., ČEÚ a ČHKÚ, AČZ a ASZ, Praha 2006
5. Kucera, V.: Jämförelse mellan de gamla miljöklasserna och de nya korrosivitetsklasserna, Nordisk Korrosion nr 3/2000
6. ČSN EN ISO 14921 Žárové stříkání – Postup nanášení žárově stříkaných povlaků na strojírenské součásti, CEN 2001
7. Ruddle, G. E., et al.: Analysis of the Distribution and Form of Silicon in the Steel Surface as Related to the Galvanizing Reaction, Proc Sec Int ILZRO Galv. Seminar, St. Louis 9–10 June 1976, ILZRO, New York 1976
8. Leroy, V., et al.: Galvanizing of Silicon Containing Steels, Ibid
9. Hänsel, G.: Thick and Irregular Galvanized Coatings, Proc 13 Int. Galv. Conf. London 1982, Zinc Dev. Association, London
10. Bablik, H.: Galvanizing (Hot Dip) E & F N Spon Ltd, London W.C.2 1950
11. Horstmann, D.: Allgemeine Gesetzmässigkeiten des Einflusses von Eisenbegleitern auf die Vorgänge beim Feuerverzinken, Stahl und Eisen 80 (1960): 22, 1531–1540
12. Horstmann, D.: Das Verhalten mikrolegierter Baustähle mit höherer Festigkeit beim Feuerverzinken, Arch. Eisenhüttenw. 46 (1975):2, 137–141
13. Hirn, A.: Användande av förzinkade detaljer vid förhöjd temperatur, delrapport VII för forskningsuppg. 4020/92 "Förzinkning av svåra stål", IM-3165, Ind. för Metallforskning, Stockholm 1994
14. Nieth, F.: Abriebverhalten von Eisen-Zink-Legierungsschichten und Reinzinkschichten Metalloberfläche 22 (1968):6, 175–177
15. Schikorr, G.: Atmospheric Corrosion Resistance of Zinc, Zinc Dev. Association, London 1965
16. Kucera, V., Mattson, E.: Förbättrade zinksikt för korrosionsskydd av järn och stål, Bull 78 Korrosionsinst., Stockholm 1976
17. Slunder, C. J., Boyd, W. K.: Zinc: Its Corrosion Resistance, Zinc Dev. Association, London 1971
18. Schwenk, W., Friehe, W.: Korrosionsverhalten Feuer- und Spritzverzinkter Stahlbleche mit und ohne Schutzanstrich auf dem Seewasserversuchstand des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Helgoland, Stahl und Eisen 92 (1972):21, 1030–1035
19. Kreislová, K., Strzyž, P., Koukalová, A.: Příručka pro navrhování, kontrolu a údržbu potrubí s povlakem žárového zinku, ISBN 978-80-260-1320-4, Ostrava 2011
20. Wiederholt, W.: Korrosionsverhalten von Zink in Wässern, Zinkberatung e. V., Düsseldorf 1965
21. Vinka, T. G.: Korrosion på förzinkat stål och kolstål i karbonatiserad och kloridhaltig betong, Nordisk Korrosion nr 3/2002
22. Eijnsbergen van, J. F. H.: Duplex Systems Hot Dip Galvanizing plus Painting, The Hauge 1994
23. Handbok i Rostskyddsmålning, Bulletin nr 85, upplaga 2, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1984
24. Bland, J.: Welding Zinc-Coated Steel, American Welding Soc., Miami, Florida 1972
25. Thomas, R.: Bågsvetsning av zinkbelagt stål, Nordisk Förzinkningsförening, Stockholm 1974
26. Landner, L., Lindeström, L.: Zink – resurs och/eller hot? En faktaredovisning, Miljöforskargruppen, Stockholm och Fryksta 1996
27. Landner, L., Reuther, R.: Metals in Society and in the Environment, AF-Environmental Research Group and enas Environmental Assessments, Sweden and Germany 2004
28. Kreislová, K., Koukalová, A., Knotková, D.: Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků zinku v atmosférických podmínkách, Koroze a ochrana materiálu, ISSN 1804-1213, 5 (1), pp. 19 – 22, 2011
29. Kreislová, K., Koukalová, A., Laník, T., Hovorková, K.: Životnost zinkových povlaků na konstrukcích dopravní infrastruktury, sborník 17. konference žárového zinkování, 14.–16. 6. 2011, ISBN 978-80-254-9364-9, pp. 39–44, Ostrava 2011
30. Knotková, D., Kreislová, K.: Korozní chování kovů a kovových povlaků v atmosférickém prostředí, SVÚOM Praha, ISBN 978-80-87444-01-6, 2010



Skleněná stěna s žárově zinkovanou ocelovou kostrou.

Severský svaz žárového zinkování je svaz skandinávských žárových zinkoven. Jeho účelem je podporovat vývoj v oboru, a podmiňovat tím rozsáhlejší používání žárově zinkovaného materiálu.

Severský svaz žárového zinkování podporuje výzkum a vývoj, zabývá se otázkami životního prostředí a vzdělávání a sleduje obor v mezinárodním měřítku.

Severský svaz žárového zinkování slouží také jako databanka, kam se každý z oboru může obrátit se svými dotazy.



Nordisk Förzinkningsförening



Drottning Kristinas väg 48, 114 28 Stockholm, e-mail: info@zincinfo.se, www.zincinfo.se



Asociace českých a slovenských zinkoven, z.s. (AČSZ)
Na Burni 1497/39, 710 00 Ostrava, e-mail: info@acsz.cz, www.acsz.cz