



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ

HOT DIP GALVANIZING OF HIGHSTRENGTH STEELS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ BARÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Baránek

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Žárové zinkování vysokopevnostních ocelí

v anglickém jazyce:

Hot dip galvanizing of highstrength steels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vysokopevnostní oceli jsou stále častěji používány pro celou řadu aplikací, především konstrukcí vystavených atmosférické korozi. Dlouhodobou vysokou korozní odolnost běžných ocelí zajišťuje žárové zinkování v roztaveném zinku. U pevnostních ocelí se při ohřevu v lázni zinku snižují hodnoty mechanických vlastností. Cílem práce je definovat hranici poklesu pevnosti u jednotlivých typů ocelí.

Cíle diplomové práce:

- 1) Provést rozbor aplikací vysokopevných materiálů v praxi.
- 2) Definovat možné povrchové úpravy se zaměřením na dlouhodobou ochranu proti korozi.
- 3) Experimentálně provést na vzorku vysokopevnostních ocelí žárové zinkování s cílem zjištění vlivu tepelného vlivu na pevnostní charakteristiky ocelí.
- 4) Vyhodnocení experimentální práce a rozbor mechanických vlastností ocelí.
- 5) Závěr

Seznam odborné literatury:


1. MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. 3vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156s. ISBN 80-248-1217-7.
2. SEDLÁČEK, V. Povrchy a povlaky kovů. 1vyd. Praha: Ediční středisko ČVUT Praha. 1992. 176s. ISBN 80-01-00799-5.
3. PODJUKLOVÁ, J. Speciální technologie povrchových úprav I. 1vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1994. 76s. ISBN 80-7078-235-8.
4. www.povrchovauprava.cz
5. www.konstrukce.cz

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 20.11.2012





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlastnostmi vysokopevnostních ocelí, zejména jejich odolnosti vůči působení koroze. Rozebírá jednotlivé druhy koroze a možnost ochrany materiálu proti jejímu působení. Porovnává náklady na ochranu proti korozi systémem natěrových hmot a žárového zinkování. Popisuje princip odmašťování a moření, kterých se využívá jako předúprav pro žárové zinkování. Existuje několik postupů žárového zinkování jako je mokrý či suchý způsob nebo odstředování, kterého se využívá pro drobné součásti. Hodnotí změnu mechanických vlastností ocelí Hardox 500, Weldox 700 a Weldox 500 po žárovém zinkování.

Klíčová slova

vysokopevnostní oceli, koroze, žárové zinkování, mechanické vlastnosti

ABSTRACT

This master's thesis deals with the properties of highstrength steels, mainly with their resistance to corrosion. It describes discusses different types of corrosion and the possibility of protecting materials against corrosion. The thesis also evaluates compares the cost of corrosion protection by using coating and hot dip galvanizing. It describes describes the principles of degreasing and pickling, which is used as an adjustment before hot dip galvanizing. It evaluates there are many procedures for hot dip galvanizing, such as wet, dry or spin method, which is used for small parts. This thesis also evaluates the change of mechanical properties of steels: Hardox 500, Weldox 700 and 500 Weldox after hot dip galvanizing.

Key words

highstrenght steels, corrosion, hot dip galvanizing, mechanical properties

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARÁNEK, T. *Žárové zinkování vysokopevnostních ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 62 s., 7 příloh
Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Žárové zinkování vysokopevnostních ocelí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Tomáš Baránek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkoví a Ing. Kamilu Podanému Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 VYSOKOPEVNOSTNÍ OCELI.....	10
2 KOROZE	12
2.1 Chemická koroze	14
2.2 Elektrochemická koroze	15
2.3 Ochrana materiálu proti korozi	19
2.3.1 Úprava korozního prostředí	20
2.3.2 Elektrochemická ochrana kovů.....	20
2.3.3 Volba vhodného konstrukčního materiálu	21
2.3.4 Tvorba ochranných povlaků	22
2.4 Výběr vhodného způsobu protikorozi ochrany.....	23
3 PŘEDÚPRAVY.....	25
3.1 Odmašťování.....	25
3.2 Moření.....	27
3.2.1 Moření v kyselině sírové.....	27
3.2.2 Moření v kyselině chlorovodíkové	28
4 ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ.....	29
4.1 Technologický postup.....	29
4.2 Žárové zinkování malých součástí – odstředování	30
4.3 Žárové zinkování drátů a trubek	31
4.4 Žárové zinkování plechů.....	31
4.5 Reakce mezi železem a zinkem	31
4.6 Pevnost žárově zinkovaných ocelí	32
4.6.1 Pevnost v tahu, vrubová houževnatost a tažnost.....	32
4.6.2 Únavová pevnost.....	32
4.6.3 Křehkost, praskání	33
4.7 Projektování a výroba konstrukcí	33
4.7.1 Bezpečnostní požadavky.....	34
4.7.2 Projekční hlediska.....	34
4.8 Nátěry žárově pozinkovaných ocelí – duplexní systémy.....	36

4.8.1 Životnost duplexního systému	36
4.8.2 Čištění a předúprava povrchu	37
4.10 Výhody žárového zinkování	38
4.11 Nevýhody žárového zinkování	41
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
5.1 Hardox	42
5.1.1 Rozdílné typy opotřebení	42
5.1.2 Mechanické vlastnosti.....	43
5.1.3 Hardox - vlastnosti.....	44
5.2 Weldox.....	46
5.3 Zkoumané vzorky	47
5.3.1 Hardox 500	49
5.3.2 Weldox 700.....	51
5.3.3 Weldox 500.....	52
5.3.4 Důsledky žárového zinkování.....	54
6 Porovnání nákladů různých typů povlaků	55
7 ZÁVĚR	57
ZDROJE:	58
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	60
Seznam příloh	62

ÚVOD

Moderní doba vyžaduje stále vyšší požadavky na provedení a kvalitu součástí. Velký důraz je kladen na vlastnosti materiálu dílce a také na jeho životnost. Vlastnosti materiál získává již během výroby a to výrobním postupem, množstvím a druhem použitých příměsí. Životnost je udána typem materiálu, jeho složením a prostředím, ve kterém bude materiál používán. Významně ji lze ale prodloužit použitím vhodné povrchové úpravy.

Existuje celá řada takovýchto úprav (nátěry, žárový způsob nanášení kovového povlaku, galvanický způsob nanášení kovového povlaku, atd.). Druh povlaku se volí dle způsobu použití konstrukce a podle prostředí, ve kterém bude konstrukce používána. Dalším důležitým faktorem volby povrchové úpravy jsou náklady na její realizaci. Ty se odvíjí od druhu úpravy a požadované životnosti. Nejčastěji se využívají povrchové úpravy chránící dílce proti působení korozních vlivů. Kromě ochrany plní povlaky také estetickou funkci.

V současnosti se stále častěji používají vysokopevnostní oceli. K těmto materiálům patří například ocelové plechy Hardox a Weldox.

1 VYSOKOPEVNOSTNÍ OCELI

Mezi vysokopevné materiály lze řadit jen takové oceli, které splňují tzv. vysokopevnostní parametry:

$$R_m, R_{p0,2} \geq \frac{Nm}{kg} \quad (1.1)$$

$$\frac{(R_m, R_{p0,2})}{\rho} \geq 0,2 \quad (1.2)$$

Pro oceli to představuje požadavek $R_{p0,2} \geq 1500$ MPa. K dosažení tak vysoké pevnostní úrovně je nezbytné výrazně zvýšit obsah legujících prvků. Vzniká skupina vysokolegovaných speciálních ocelí. V tabulce 1.1 jsou znázorněny skupiny všech vysokopevnostních materiálů a mezi pevnosti, které dosahují. ^[1]

Tab. 1.1 Skupiny a vlastnosti vysokopevnostních ocelí [1].

Oceli	R_m [MPa]	Slitiny	R_m [MPa]
Klasicky zušlechtěné	2000	Cu (Be2)	960
Termomechanicky zpracované	2300	Ti	1240
Maraging	2500	Ni	1550
TRIP	1800	Co	1950
		Ta	1100

- Klasicky zušlechtěné oceli

Představují vstupní práh vysokopevnostních ocelí. Při minimální pevnosti kolem 1500 MPa však mají velmi nízkou tažnost, jak ukazují následující příklady. Zvyšování pevnosti je limitováno vysokouhlikovým martenzitem. Nově vyvíjené oceli této třídy vykazují zvýšenou metalurgickou čistotu ($S, P < 0,005$), čímž houževnatost mírně vzrůstá;

- Termomechanicky zpracované oceli

Mechanické zpracování v oblasti austenitu za nízkých teplot potlačuje postup dynamické rekystalizace, zvyšuje hustotu dislokací, zjemňuje strukturu. Tyto zpevňující účinky doprovází mírný nárůst houževnatosti, vzrůst odolnosti proti křehkému porušení. Pro středně legované uhlíkové oceli leží nejnižší teplota možné deformace homogenního austenitu v intervalu $800 \text{ °C} \div 850 \text{ °C}$. Tyto oceli se nazývají vysoko termomechanicky zpracované (VTMZ). Stupeň deformace bývá $40 \% \div 90 \%$.

Oceli legované vyšším obsahem karbidotvorných prvků lze tvářet při teplotách $500 \text{ °C} \div 600 \text{ °C}$. To je umožněno posunutím křivek IRA a oddělením jejich perlitické a bainitické přeměny. Tváření v oblasti nízkoteplotní stability austenitu se nazývá nízko termomechanicky zpracované (NTMZ). Tímto postupem při deformaci až 95 % dojde k transformaci jemného austenitu s vysokou dislokační hustotou na vysoce jemný martenzit. Úroveň pevností ocelí NTMZ je vyšší, naopak VTMZ vykazují poněkud vyšší houževnatost, jak je znázorněno v tab. 1.2;

Tab. 1.2 Úroveň pevností ocelí NTMZ resp. VTMZ [1].

Typ oceli	Značka	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_5 [%]	K_{IC} [MPa*m ^{0,5}]	TMZ
54SiCr6	W.N. 1,7102	2000	6	55	NTMZ
35NiCr18	W.N. 1,5864	1680	10	75	VTMZ
41NiCrMo	W.N. 1,6563	1950	8	60	NTMZ

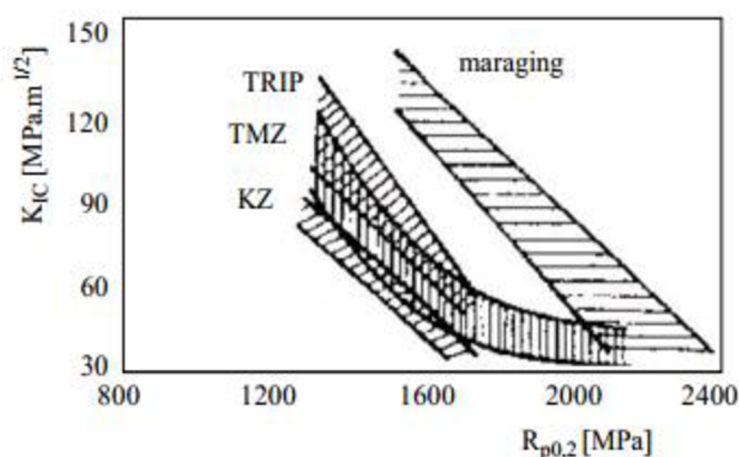
- Maraging oceli

Oceli maraging jsou vůbec nejpevnějším homogenním materiálem. Byly odvozeny od základního typu slitiny Fe-18 % Ni, dolegováním Co, Mo, Ti a Al. Tyto oceli dosahují vynikající tvrdosti vytvrzováním nízkouhlíkového Ni – martenzitu převážně intermetalickými fázemi Ni₃Ti. V případě korozivzdorných ocelí maraging se využívá ještě dalšího legujícího prvku a sice Cr (asi 10 %).

Oceli jsou kaleny z rozpouštěcích teplot 800 °C ÷ 840 °C většinou do oleje. Vzhledem k nízkým obsahům uhlíku (0,01 % ÷ 0,03 %), vzniká po zakalení měkký “niklový“ martenzit. Zakalené oceli jsou technologicky nejzpracovatelnější (dobrá obrobitelnost, svařitelnost). Následným vytvrzováním při teplotě 450 °C ÷ 550 °C dochází k jejich prudkému zpevnění, mez kluzu roste přibližně dva a půl krát;

- TRIP oceli

Tvářením za studena nestabilního austenitu a jeho transformací na martenzit (TRIP – transformace indukovaná plasticitou) a deformačním stárnutím martenzitu lze dosáhnout vysokých pevností při velmi vysokých hodnotách lomové houževnatosti. Porovnání všech druhů vysokopevnostních ocelí umožňuje obr. 1.1. Z obrázku vyplývá, že cesta zvyšování meze kluzu ocelí na hodnoty 2500 MPa ÷ 3000 MPa je možná (zvláště u ocelí maraging), ale je doprovázena snížením lomové houževnatosti pod nepřijatelnou hodnot 30 MPa m^{0,5}. [1]



Obr. 1.1 Vztah lomové houževnatosti a meze pevnosti vysokopevnostních ocelí [1].

2 KOROZE

Korozi lze definovat jako samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálu chemickými a fyzikálně – chemickými vlivy prostředí. Někdy se do koroze zahrnují i děje vyvolané fyzikálním rozpouštěním (v roztavených kovech) nebo vypařováním apod. Korozi podléhají nejen kovy a jejich slitiny, ale také nekovové materiály, jako jsou anorganické látky, keramické či silikátové (sklo, beton), organické látky (guma, plasty) a další materiály. Poškození materiálů je různé, např. od změn jeho vzhledu (ztráta lesku, barvy) až po jeho úplný rozpad. Samovolný průběh korozního procesu je způsobován tím, že korozní systém – materiál – prostředí směřuje do pravděpodobnějšího (neuspořádaného) stavu s menší volnou entalpií. Znehodnocování materiálů, v důsledku takovýchto reakcí je znakem odlišujících korozi od jiných žádoucích reakcí jako je např. leptání, rozpouštění kovů apod. Korozní děje mohou být ovlivňovány i současným působením mechanického namáhání (korozní praskání, korozní únava), elektrickým proudem (koroze bludnými proudy), radiací, bakteriemi atd.

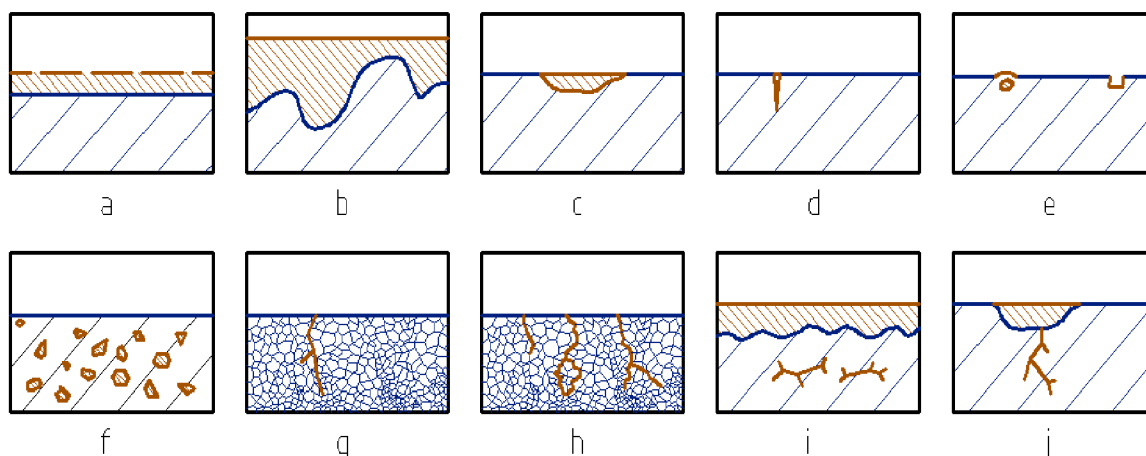
Koroze kovu se může projevit zcela zjevně – úbytkem materiálu a tvorbou korozních produktů nebo změnami materiálů, které nejsou sice tak zjevné (ztráta pevnosti, tažnosti, vznik mikrotrhin), ale projeví se za čas korozním poškozením struktury např. korozním praskáním. Korozní děje lze hodnotit a rozdělit z hlediska:

- typu napadení (makroskopické hledisko),
- charakteru korozního děje,
- korozního (reakčního) prostředí,
- rozhodujícího činitele majícího vliv na korozní napadení či děj.

Různé formy korozního napadení závisí na materiálu (druh, struktura, vlastnosti, čistota), korozním prostředí a na podmínkách kterým je materiál vystaven. Nejběžnější typy jsou zobrazeny na obr 2.1.

Rovnoměrná koroze způsobuje rovnoměrné úbytky materiálu po celé ploše. Z pohledu spolehlivosti zařízení je tento typ nejpříznivější, protože je možné experimentálně stanovit rychlost úbytku a zařízení konstruovat s ohledem na korozní rychlost. Tato rychlost se vyjadřuje v jednotkách $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ nebo $\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ a obvykle se mění s časem. Počáteční hodnota je větší než konečná, a proto se udává její časový průměr.

Důlková a bodová koroze je charakterizována pro snadno pasivovatelné kovy jako železo, chrom, hliník, nikl, korozivzdorné oceli atd. Vzniká místním poškozením pasivní vrstvy zejména v prostředí obsahujícím ionty Cl^- nebo jiné oxidující látky (kyslík, chromáty apod.). Jedná se o velmi nebezpečný druh koroze, který může vést až k proděravění poměrně tlustých stěn a tím k vyřazení celého zařízení z provozu. Důlkové napadení se od bodového liší tím, že průměr důlku je větší než jeho hloubka.



a - rovnoměrné, b - nerovnoměrné, c - důlkové, d - bodové, e, f - podpovrchové, g - mezikrystalové, h - transkrystalové, i - extrakční, j - korozní trhliny

Obr. 2.1 Některé druhy korozního napadení [2].

Štěrbínová koroze souvisí s bodovou korozí a objevuje se v jemných kapilárách nebo štěrbinách se špatným oběhem korozního prostředí. Vznikající místní rozdíly v koncentraci kyslíku vytvářejí podmínky pro vznik koroze.

Mezikrystalová koroze se objevuje při podstatně odlišném složení hranic zrn proti objemu zrna. Často se s ní lze setkat u korozivzdorných austenitických ocelí, které byly zcitlivěny ohřevem v oblasti teplot 500 °C – 800 °C. Je tedy způsobena vyšší rychlostí koroze po hranicích zrn, než vlastního zrna. Někdy přechází napadení hranic krystalu na samotné krystaly a pak se jedná o tzv. transkrystalovou korozi. Tato porušení jsou velice nebezpečná, protože unikají běžnému vizuálnímu pozorování.

Podpovrchové napadení je charakterizováno malým narušením povrchu, zatímco pod povrchem vznikají prostorové korozní dutiny. Velikost dutin je v řadě případů ovlivňována vznikajícími korozními produkty. Tím se mění vlastnosti prostředí a v dutině nedochází k pasivaci. Dutiny mohou vytvářet podpovrchová pásma bez zjevného spojení s povrchem. Selektivní napadení se vyskytuje u slitin s dvou a více fázovými strukturami. Korozní napadení se v některém prostředí omezuje pouze na jedinou fázi. Ve většině případů se korodující fáze liší chemickým složením od nekorodujících fází.

Extrakční napadení je způsobováno korozí jediné chemické složky slitiny. Napadení může být po celém povrchu rovnoměrné a rovnoměrně pronikat do hloubky, ale též může být místní nebo vytvářet důlky.

Podle charakteru probíhajících dějů se koroze člení na:

- chemickou (v elektricky nevodivých prostředích),
- elektrochemickou (v elektricky vodivých prostředích).^[2]

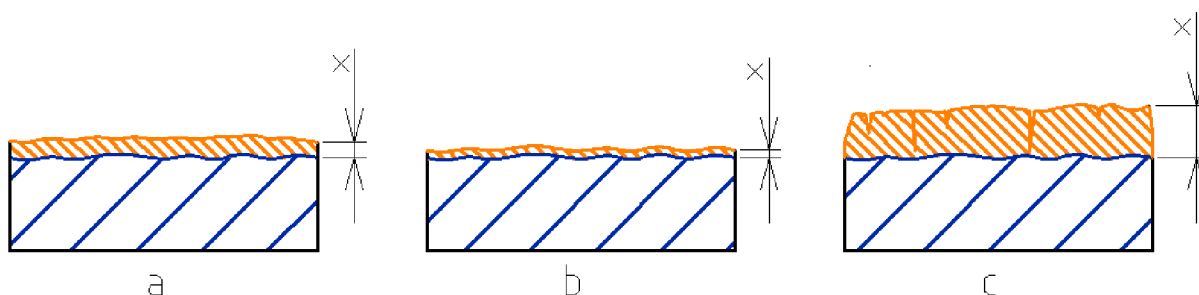
2.1 Chemická koroze

Probíhá v plynech, které mají oxidační či redukční povahu nebo v řadě bezvodých organických tekutin. Je charakteristická vznikem vrstev korozních produktů na povrch materiálu. Na jakosti korozních produktů a možnosti průniku korozního prostředí touto vrstvou závisí její další růst a tím i rychlost koroze. Vznik tuhých korozních zplodin není obecnou vlastností všech kovů a prostředí, např. při působení chloru na železo při vyšších teplotách, kdy vznikající zplodina (chlorid) sublimuje.

Oxidace kovů a slitin je děj, při kterém ztrácí kov své valenční elektrony. Produktem této reakce jsou korozní produkty tvořené nejčastěji oxidy kovů, ale také jinými sloučeninami jako jsou uhličitany, sírany nebo chloridy. Náhylnost kovu k tomuto druhu napadení v oxidačních prostředích se hodnotí Pillingovým-Bedwordovým číslem r_{PB} definovaným podílem molárního objemu oxidu korozního produktu V_0 a atomárního objemu kovu V_{Me}

$$r_{PB} = \frac{V_0}{V_{Me}} \quad (2.1)$$

U alkalických kovů (Li, K, Ba, Sr) v oxidačním prostředí se nevytváří celistvá ochranná vrstva, protože jejich produkty koroze mají menší molární objem V_0 než atomový objem korodujícího kovu V_{Me} ($r_{PB} < 1$). Vzniklá nesouvislá tenká vrstva oxidu podmiňuje vysokou rychlost oxidace. U většiny technických kovů je Pilling-Bedwordovo číslo $r_{PB} \geq 1$. Vzniká povrchová vrstva, která je souvislá a má dobré ochranné vlastnosti. Při vysokém poměru V_0/V_{Me} dochází k porušení celistvosti vrstvy (obr. 2.2), k jejímu praskání a odlupování. Vrstva již dostatečně nechrání.

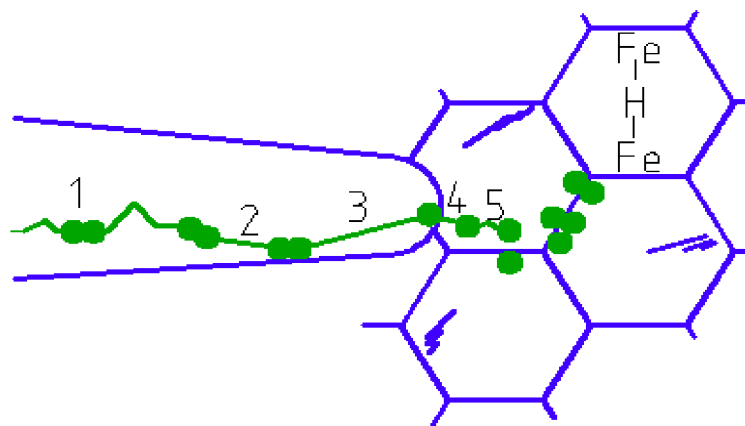


Obr. 2.2 Tloušťka a charakter oxidické vrstvy v závislosti na hodnotě r_{PB} [2].

Koroze redukčními plyny je způsobována ve většině případů difúzí redukujících plynů do kovu a reakcí s nekovovými složkami materiálu. Na povrchu nevznikají korozní zplodiny. Příkladem je působení vodíku na oceli, kde může docházet k poškození dvojího druhu. Jednak k vodíkové korozi jako důsledek reakce rozpuštěného vodíku s uhlíkem přítomným v oceli a jednak k vodíkovému křehnutí, které je vyvolané vodíkem rozpuštěným v oceli. Atomární vodík snadno difunduje do struktury oceli, kde se hromadí většinou v pórech nebo na fázových rozhraních, snižuje energii hranic zrn, nebo přechází zpět za vzniku vysokých tlaků na molekulární formu.

K chemické korozi počítáme i korozní reakce probíhající v kapalném prostředí neelektrolytů obsahujících sírné sloučeniny jako jsou kapalná paliva, mazací oleje apod.

Patří sem i poškození materiálu v roztavených kovech, zejména sodíku, který je chladivem v jaderných reaktorech. ^[2]



- 1 - transport H_2 , 2 - disociace H_2 , 3 - transport H, 4 - difuze H do povrchu,
5 - difuze atomů H strukturou kovu

Obr. 2.3 Mechanismus vzniku vodíkové křehkosti [2].

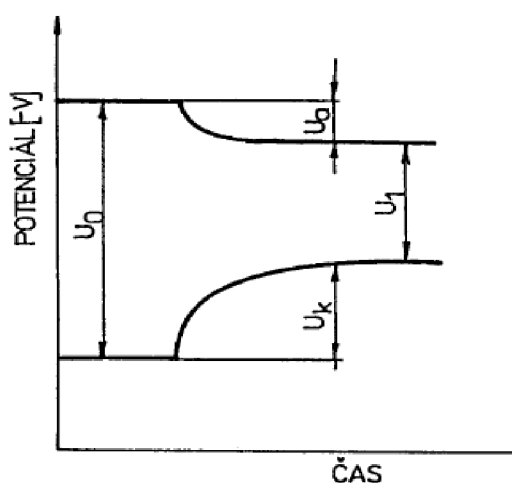
2.2 Elektrochemická koroze

Je umožněna existencí iontů, které vzniknou disociací korozního prostředí – jedná se o případy koroze při styku kovů s elektrolytem (roztoky kyselin, zásad a solí). Každá reakce se dělí na anodickou a katodickou. Při anodické reakci dochází k oxidaci kovu tedy ke korozi. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány některé složky korozního prostředí spotřebováním elektronů (vybíjením iontů vodíku nebo redukcí kyslíku rozpuštěného v elektrolytu). Obě reakce probíhají současně a jsou na sebe vázány (elektrony uvolněné při anodické reakci jsou spotřebovány redukcí reakcí). Atomy povrchu kovu mají snahu přejít v kladně nabitě ionty, které jsou puženy do elektrolytu tlakem, který je nazýván rozpouštěcím napětím. Povrch kovu je tedy nabit záporně, elektrolyt kladně. Na rozhraní mezi kovem a elektrolytem vzniká určitý potenciální rozdíl, který má vliv na přecházení kovu do roztoku. Jeho velikost nedokážeme stanovit, proto se obvykle stanovuje potenciální rozdíl mezi kovem a určitou srovnávací elektrodou. Jako srovnávací volíme vodíkovou elektrodu (platinový plíšek povlečený platinovou černí nasycenou vodíkem). Standardní potenciál charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovů tab. 2.1 (tedy snahu přecházet do iontového - oxidovaného stavu a uvolňovat elektrony).

Tab. 2.1 Standardní elektroodové potenciály některých kovů [2].

Kov	Potenciál /V/	Kov	Potenciál /V/
Sodík	- 2,71	Cín	- 0,14
Hořčík	- 1,55	Olovo	- 0,12
Hliník	- 1,33	Vodík	0,00
Zinek	- 0,76	Antimon	+ 0,20
Chrom	- 0,56	Měď	+ 0,34
Železo	- 0,44	Stříbro	+ 0,80
Kadmium	- 0,40	Rtuť	+ 0,86
Kobalt	- 0,29	Zlato	+ 1,36
Nikl	- 0,23		

Nejmenší korozní odolnost mají kovy s největším negativním potenciálem (elektronegativní), proti kovům s kladným potenciálem (elektropozitivní). Kromě druhu kovu působí na rychlost koroze i další vlivy jako stav povrchu, druh a koncentrace korozního činidla, jeho teplota apod. Hodnoty elektrolytického potenciálu platí pouze pro počátek koroze. Během krátké doby se vlivem vzájemně přitažlivých sil v elektrickém rozvrstvení koroze zpomaluje pochodem nazývaným polarizace. Při polarizaci se zmenšuje potenciální rozdíl mezi anodou a katodou (obr. 2.4), potenciály obou elektrod se k sobě přibližují a to vede ke zmenšení koroze. Příčinou polarizace na katodě jsou zejména vodíkové ionty pokrývající povrch katody a bránící dalším iontům v přístupu na katodu. Polarizací anody způsobují produkty rozkladu usazující se na anodě. Odstranění nebo zmenšení polarizace se nazývá depolarizací a může ji způsobit pohyb elektrolytů nebo vznik sraženiny, která jako produkt koroze padá z anody na dno nebo oxidace vodíku na katodě kyslíkem a jiné příčiny. Depolarizací se tedy rychlost zvyšuje.



U_0 - počáteční rozdíl potenciálů mezi katodou a anodou, U_k - katodová polarizace,
 U_a - anodová polarizace, U_1 - ustálený rozdíl

Obr. 2.4 Schéma změny potenciálů elektrod [2].

Vysoký záporný potenciál ještě neznamená, že kov bude značně korodován až do úplného zničení. V některých případech se na povrchu kovu vytvoří ochranná vrstva (lidický povlak), který zmírní další nebo zastaví další korozi. Vzniká tu nová dvojice a to oxid kovu a elektrolyt, kde oxid je po elektrotechnické stránce ušlechtilejší než původní kov.

Z hlediska korozního prostředí se člení korozní napadení a děje na:

- korozi atmosférickou,
- korozi v kapalinách (ve vodách),
- korozi v plynech,
- korozi v půdách.

Atmosférická koroze je nejrozšířenější formou koroze (cca 60 % ztrát). Jedná se o elektrochemickou korozi probíhající s kyslíkovou depolarizací. Základním faktorem určujícím rychlost tohoto děje je stupeň ovlhčení kovového povrchu, který je dán tloušťkou kondenzované vlhkosti a periodičnosti dosažení rosného bodu v podmínkách atmosféry. Rychlost je dále závislá na přítomnosti plynných nebo rozpustných tuhých nečistot. K nejvýznamnějším a nejagresivnějším složkám znečištění atmosféry patří oxid siřičitý, chlorid sodný, kyselina chlorovodíková, prach, popel atd. Velmi důležitým faktorem je kyslík, neboť tenké vrstvy vlhkosti kladou minimální překážky jeho difúzi do z kondenzované vlhkosti. Pro průběh elektrochemické reakce není důležité dosažení rosného bodu. Již při nižší vlhkosti, která bývá označována jako kritická korozní vlhkost (okolo 60% relativní), vzniká na povrchu kovu velmi slabá vrstvička roztoku elektrolytu (0,005 mm ÷ 0,150 mm). Příčinou jsou nerovnosti povrchu a přítomnost usazených tuhých částic. Rozbor klimatických faktorů umožňuje předem určit agresivitu různých typů atmosfér.

Koroze ve vodách je nejčastější z případů koroze v kapalinách. V technické praxi se setkáváme převážně s vodou, ve které jsou rozpuštěny různé chemické látky kyselého a zásaditého charakteru, které přímo ovlivňují intenzitu koroze. Jedná se o elektrochemický děj, jehož rychlost může být ovlivněna řadou činitelů, které se mohou projevat samostatně jako např. chemické děje v roztoku, vliv mechanických nečistot, kavitace, vliv mikroorganismů apod.

Koroze v plynech se projevuje působením plynného prostředí na kovový materiál za vzniku chemických sloučenin. Jedná se převážně o chemické děje. Z hlediska technické praxe je nejdůležitější problematika koroze v plynech za vysokých teplot. Kromě vlivu chemického složení plynného prostředí má na proces vliv teplota a hodnota tlaku plynu (resp. Parciálního tlaku oxidační složky).

Koroze v půdách patří mezi zvláštní případy koroze v roztocích elektrolytů, neboť půda je tvořena fází tuhou, kapalnou i plynnou. Z korozního hlediska má základní význam kapalná fáze představovaná vodným roztokem elektrolytů s různým množstvím rozpuštěných plynů. Koncentrace vodíkových iontů je velmi proměnná, stejně tak koncentrace solí se pohybuje od zlomků procent do 3 % ÷ 4 %. Plynnou fází půdní struktury tvoří kyslík, dusík a oxid uhličitý.

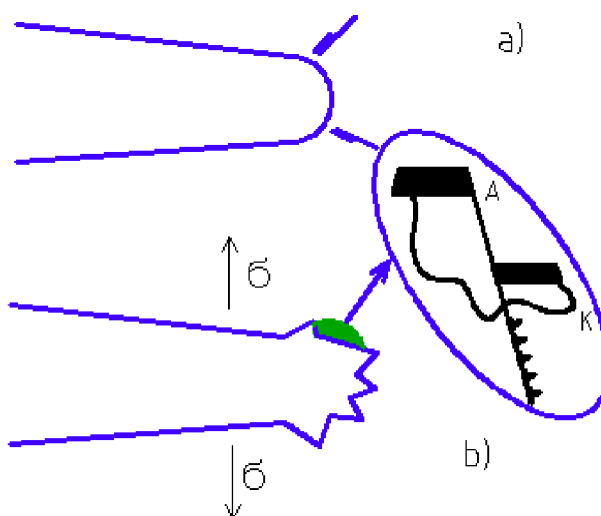
Z hlediska rozhodujících vnějších činitelů členíme korozní napadení a děje na:

- korozi za napětí,
- korozi cizími (tzv. bludnými proudy),
- korozi biologickou,
- korozi vibrační.

Mechanické namáhání ovlivňuje mechanismus a kinetiku koroze a naopak koroze ovlivňuje mechanické vlastnosti kovových materiálů. Podle charakteru mechanického namáhání rozlišujeme dva základní typy koroze:

- a) Korozní praskání vzniká za současného působení napjatosti materiálu a korozního účinku prostředí. Praskání se projevuje vznikem transkrystalových a mezikrystalových trhlinek, z nichž může vycházet křehký lom. Praskání se v podstatě neprojevuje u čistých kovů. Vzniká např. u měkkých uhlíkových ocelí (louhová křehkost), austenitických ocelí, slitin mědi aj.

Na obr. 2.5 je znázorněno schéma korozního praskání, a značí plastickou deformaci a otupení kořene trhliny, b opakované porušení pasivační vrstvy, K katodu a A anodu;



Obr. 2.5 Schéma mechanismu korozního praskání [2].

- b) Korozní únava: je napadení, které vzniká současným korozním a mechanickým namáháním materiálu (střídavou změnou napjatosti). Mez únavy kovových materiálů se značně snižuje vlivem současného působení agresivního prostředí, její hodnota je závislá na frekvenci střídavého namáhání a na době působení agresivního prostředí. Je jí tedy možno vysvětlovat účinkem koroze a fyzikálních dějů na povrchu kovu materiálu (povrchovou aktivitou, absorpcí). Příčinou je opakované porušování křehké pasivační vrstvy oxidů na povrchu kovu, které podporuje jeho anodické porušení. Toto vede k urychlení šíření čela trhliny a zkrácení doby lomu. Rychlost šíření trhliny je dána vztahem:

$$\frac{dc}{dt} = C \cdot K_I^a \quad (2.2)$$

Korozní únava materiálu snižuje prahovou hodnotu faktoru intenzity napětí, pod kterou je šíření dlouhé únavové trhliny vyloučeno.

Koroze bludnými proudy úzce souvisí s korozi v půdách a probíhá za specifických podmínek průchodu elektrických proudů z vnějších zdrojů částí kovových zařízení uloženými v půdě (vodovodní a plynová potrubí, kabely). Zdrojem proudu je nejčastěji elektrická trakce. V místech vniku bludných proudů do země a ze země do potrubí se vytváří katodové pásmo. V místech, kde proud vystupuje z potrubí do půdy a z ní do kolejnice nebo měnirny vzniká pásmo anodové. Korozní ztráty jsou značné (při průchodu 1 A může dojít k rozrušení až 9 kg železa, 10 kg mědi nebo 34 kg olova ročně).

Koroze vibrační vzniká na styčných plochách kovových materiálů, které konají vzájemný kmitavý pohyb o malé amplitudě při určitém specifickém tlaku. Jedná se o opotřebení ploch, které však v důsledku oxidačních pochodů je mnohem výraznější než při rovnoměrném tření bez současného působení prostředí.

Koroze biologická se může objevit za přítomnosti některých bakterií. Mohou být napadány jak materiály kovové, tak nekovové. Korozi způsobují aerobní bakterie, které mohou redukovat sulfáty až na sulfidy, i bakterie anaerobní, které jsou schopny oxidovat síru a srážet železo z jeho roztoků.

I když degradace vlastností kovových materiálů agresivním prostředím vyžaduje největší pozornost, je nutno počítat s tím, že i vlastnosti ostatních technických materiálů mohou být též nepříznivě ovlivněny prostředím. Z těchto materiálů mají největší význam polymery (plasty a ryže) a keramické materiály. ^[2]

2.3 Ochrana materiálu proti korozi

Základní poznatky o mechanismu a kinetice koroze umožňují odvodit základní možnosti jak jí zabránit, případně zpomalit na přijatelnou míru, aby se zvýšila životnost výrobků.

Povrchová ochrana propůjčuje kovovému materiálu kvalitativně nové vlastnosti, odlišné od vlastností základního kovu. Z hlediska charakteru povrchové ochrany dělíme způsoby omezení, resp. zamezení koroze kovových materiálů následovně:

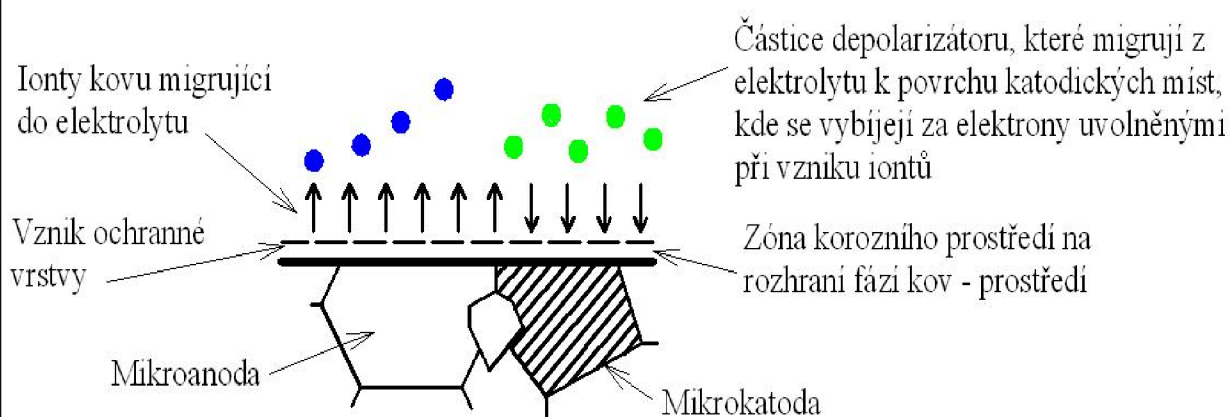
- úprava korozního prostředí odstraněním složky způsobující korozi, resp. snížením obsahu stimulační složky,
- elektrochemická ochrana kovového povrchu,
- volba vhodného konstrukčního materiálu,
- tvorba chemických kovových nebo nekovových ochranných povlaků na základním materiálu s kvalitativně odlišnými korozními vlastnostmi. ^[4]

2.3.1 Úprava korozního prostředí

Odstraněním nebo snížením koncentrace agresivních složek korozního prostředí se snižuje rychlost koroze kovových materiálů, resp. se převádí daný korozní systém do pasivního stavu, toho lze dosáhnout:

- u) použitím vysoušedel ve spojení s hermetickým balením (gel kyseliny křemičité, který snižuje absorpci vodních par na hodnotu, při které korozní procesy neprobíhají),
- b) vyhříváním za účelem snížení relativní vlhkosti pod kritickou mez,
- c) použitím komplexních sloučenin chlorofylinu s mědí a sodíkem, které váží plynné sloučeniny síry,
- d) odstraněním molekul kyslíku, resp. oxidu uhličitého z vody u parních zařízení.

Úprava korozního prostředí inhibitory koroze (obr. 2.6). Inhibitory jsou látky, které chrání povrch kovu v daném agresivním prostředí před korozí tak, že změní vlastnosti fázového rozhraní kov - prostředí. Jelikož celkový korozní průběh je kineticky řízený dílčí reakcí s nejpomalejším průběhem, zpomalují inhibitory kinetiku některé z dílčích reakcí tak, aby byl zpomalen celkový průběh korozního procesu.

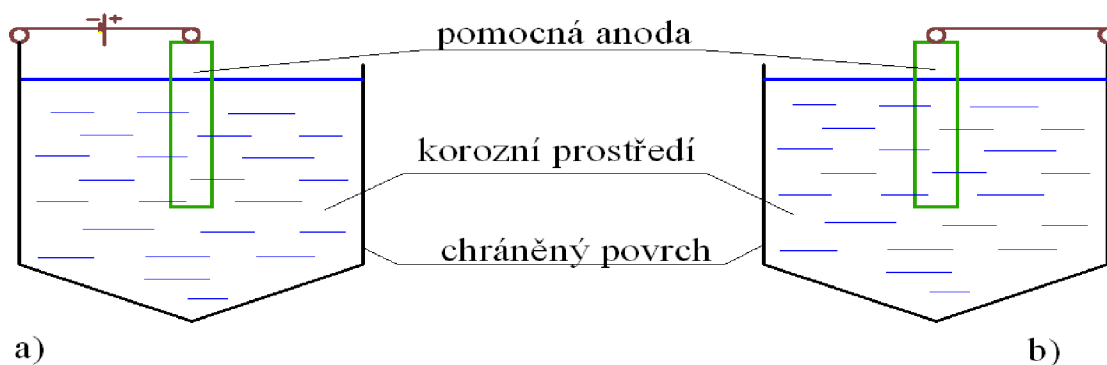


Obr. 2.6. Schéma působení inhibitoru koroze [4].

Rychlost procesu se snižuje následkem toho, že reakcí kovu a inhibitoru při spolupůsobení korozního prostředí vznikají na rozhraní kov - prostředí filmy nebo tenké vrstvičky prvků nebo sloučenin. Tyto zplodiny mají v závislosti na svém chemickém složení a fyzikálně - chemických vlastnostech vliv na rychlost koroze. Inhibitory dělíme na fyzikální a chemické. ^[4]

2.3.2 Elektrochemická ochrana kovů

Podmínkou je vytvoření korozního článku, přičemž dochází k anodickému rozpouštění, tedy korozi anody, zatímco katoda se nerozpouští a je do jisté míry funkcí článku před korozí chráněna. Toho se využívá při elektrické ochraně, kde se uměle vytvářejí makročlánky (obr. 2.7). ^[4]



a) s vnějším zdrojem proudu, b) obětovanými anodami

Obr. 2.7 Schéma katodické ochrany [4].

2.3.3 Volba vhodného konstrukčního materiálu

Volba vhodného konstrukčního materiálu je podmíněna těmito faktory:

- maximální teplotou, při které je materiál používán,
- složením prostředí a koncentrace jednotlivých agresivních látek,
- intervaly působení vlivu prostředí,
- druhem spojování vodivých odolných materiálů,
- pnutím uvnitř materiálů,
- namáháním, chvěním, nárazy apod.

Existuje mnoho druhů materiálů, přičemž každý má určité vlastnosti. K hojně využívaným materiálům ve strojírenství patří různé typy ocelí, např.:

- uhlíkové - nejrozšířenější oceli. V přirozených podmínkách korodují v rozmezí několika desetin milimetru. Ochrannou vrstvu tvoří nerozpustné hydroxidy, které se rozpouštějí teprve při vyšší koncentraci;
- nízkolegované - korozní úbytky jsou o 50 % nižší ve středně znečištěné atmosféře než u uhlíkových ocelí. Tvoří se zde ochranná vrstva, která je velmi přilnavá a chrání dostatečně ocel před korozi. Tyto oceli se v současné době stále častěji používají pro výrobu ocelových konstrukcí, které jsou vystaveny atmosférickým podmínkám. Jejich předností je s ohledem na vynikající ochranné vlastnosti oxidové vrstvy to, že nevyžadují další povrchovou úpravu;
- korozivzdorné - mají vysoký obsah chrómu, který umožňuje vznik pasivního stavu. Minimální množství chrómu potřebné pro dosažení pasivity je 12 %. Dalšími legujícími přísadami, tj. niklem, molybdenem, mědí získávají tyto oceli speciální vlastnosti a potřebnou odolnost v aktivním stavu;
- chromové - s obsahem chrómu 12 % ÷ 16 % mají buď nízký obsah uhlíku do 0,2 % a jsou feritické nebo mají vyšší obsah uhlíku a jsou martenzitické. Maximální korozní odolnosti martenzitických ocelí lze dosáhnout pouze vhodným tepelným zpracováním, tj. kalením z teplot nad 900 °C, kdy většina uhlíku zůstává v tuhém roztoku a následujícím popouštěním při teplotě cca 750 °C. Při kalení

a popouštění za teplot od 500 °C ÷ 650 °C vznikají karbidy, nastává ochuzení základní hmoty o chrom a korozní odolnost se podstatně sníží. Oceli s nízkým obsahem uhlíku kolem 0,1 % a chromu 17 % ÷ 18 % stabilizované titanem 0,5 % nejsou náchylné k mezikrystalové korozi. Jsou feritické a nejsou kalitelné, velmi dobře odolávají atmosférickým podmínkám, zejména je-li jejich povrch vyleštěn;

- austenitické - hlavními legujícími prvky jsou chrom a nikl, případně s částečnou nebo úplnou náhradou niklu manganem. Zvýšení korozní odolnosti se docílí přidáním molybdenu a mědi. Mají velice dobrou korozní odolnost. V pasivním stavu je koroze většinou zanedbatelná. V aktivním stavu je větší. Běžné typy korozivzdorných ocelí austenitických tvářených za tepla lze použít v korozním prostředí až do 400 °C a stabilizované do 800 °C. Oceli s vyšším obsahem chromu, niklu nebo křemíku jsou pro svoji žáruvzdornost použitelné do 1000 °C.

Kromě ocelí se často využívá měď (dobrá korozní odolnost, snadná zpracovatelnost, dobrá tepelná a elektrická vodivost), mosaz (odolná proti atmosférické korozi do 500 °C), bronz (velmi dobře odolný materiál), nikl (v atmosféře naprosto stálý, stejně tak ve vodách), hliník, olovo, zinek (v atmosféře velice odolné), titan (vynikající korozní odolnost, která je založena na pasivační absorpční vrstvě kyslíku). Poslední dobou se stále více využívají i nekovové materiály jako jsou

- plasty – mají velmi dobrou odolnost proti řadě prostředí, proti atmosféře, mají dobré izolační vlastnosti, zpracovatelnost. Jejich použití je omezeno poměrně nízkými provozními teplotami, hořlavostí, omezenými pevnostními vlastnostmi, které jsou navíc ovlivňovány teplotou, časem a stárnutím. Nepříznivou stránkou plastů je jejich stárnutí vlivem ultrafialového záření, vlhkosti, kyslíku atd,
- sklo – odolávají všem prostředím s výjimkou kyseliny fluorovodíkové, fosforečné a horkých alkalických roztoků,
- keramika – dobře odolný materiál, oproti sklu lepší mechanické vlastnosti a vysoká žáruvzdornost,
- beton a cementové malty – heterogenní směs přírodních nebo syntetických jemnozrnných i hrubozrnných plniv, pojiva a vody,
- pryže – organické elastické materiály na bázi přírodního nebo syntetického kaučuku, vyrábí se vulkanizací, kdy dochází k zesílení. ^[4]

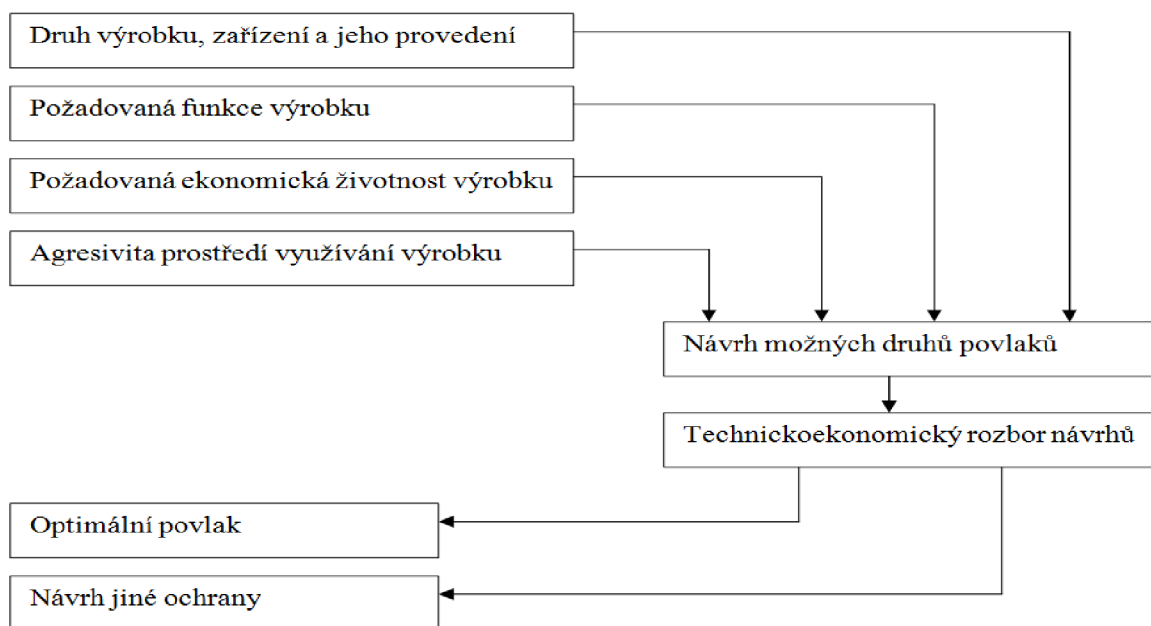
2.3.4 Tvorba ochranných povlaků

Vytváření povlaků na základním materiálu patří k nejčastěji užívaným prostředkům protikorozní ochrany. Povlaky určují jak povrchové vlastnosti, tak jeho vzhled.

Požadavky strojírenské výroby na povrchovou úpravu a protikorozní ochranu jsou velmi rozsáhlé a různorodé. Pro jejich splnění se především používají pasivní ochrany vytvářením povlaků (jeden typ materiálu v jedné nebo několika vrstvách), popř. povlakových systémů (vytvořené několika vrstvami materiálu různého druhu, např. Fe – Cu – Ni – Cr). Uživatelé výrobků kladou na technologii povrchových úprav společný požadavek, aby vytvořený povlak splňoval po celou dobu životnosti očekávané funkční, dekorativní i vzhledové vlastnosti. Snaha zabránit předčasnému selhání protikorozní

ochrany, zvýšit provozní spolehlivost a životnost výrobků vedla ke stanovení hlavních zásad optimalizace.

Optimalizace protikorozní ochrany vychází ze znalosti kinetiky korozních dějů a mechanismu ochranné funkce systému ochrany. Při vytváření povlaku je nutné navrhnout optimální systém a zajistit přímé řízení jeho jakosti. Rámcový postup je znázorněn



na obr 2.8. ^[4]

Obr. 2.8 Rámcový postup při návrhu optimalizace povlakového systému [4].

Optimální povlak je takový, který zabezpečuje požadované vlastnosti výrobků s minimálními finančními náklady na jeho vytvoření a udržování. Při konečném výběru je hodnocena ekonomie (náklady na zhotovení povlaku podle kalkulace použité technologie, zneškodňování odpadních produktů, energie, dopravu, suroviny a materiál) společně s technologickými možnostmi provozu a zabezpečení účinného řízení jakosti. ^[4]

2.4 Výběr vhodného způsobu protikorozní ochrany

Při výběru protikorozní ochrany ocelového dílu je třeba posoudit a analyzovat mnoho technických faktorů. Zejména je nutné se důkladně seznámit s prostředím, ve kterém má být konstrukce provozována. Dále se zjišťuje namáhání během dopravy, uskladnění, montáže nebo stavby.

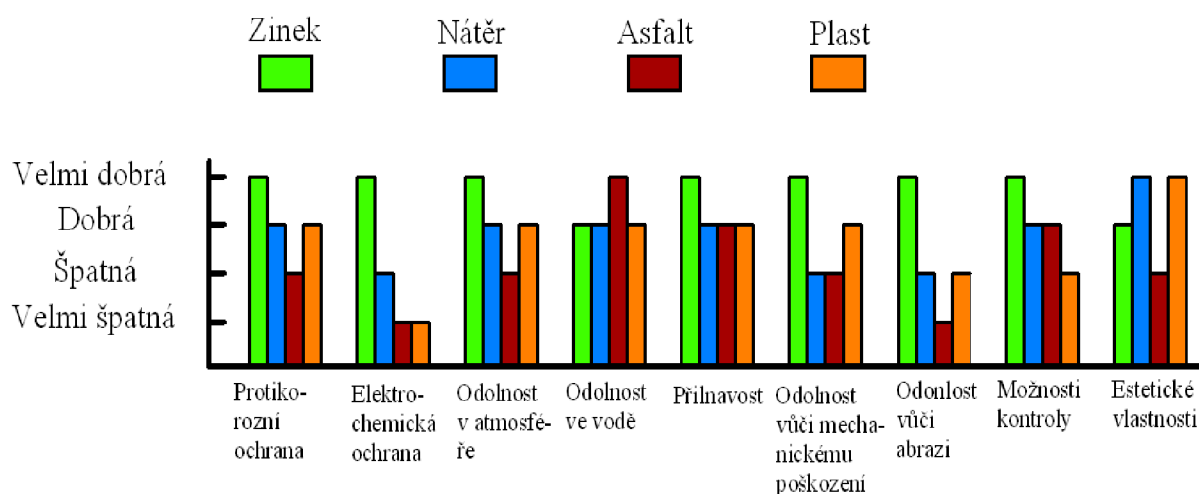
Dalším krokem je provedení ekonomické analýzy různých protikorozních ochrany. Je důležité, aby výběr ochrany nevycházel pouze z výše pořizovacích nákladů na povlak, ale počítal i s cenou balení zboží pro dopravu, s cenou oprav nátěrem po montáži a s cenou údržby po dobu životnosti. Pořizovací cena tedy tvoří pouze část celého obrazu. Celkové náklady za celou dobu životnosti konstrukce mohou ukázat zcela jiný výsledek, než prostá výše pořizovacích nákladů.

Dobré vodítko pro výběr vhodné protikorozní ochrany pro různá prostředí poskytuje tab. 2.2.

Tab. 2.2 Třídy agresivity prostředí [6].

Třída prostředí	Agresivita	Příklady prostředí
M0	Nulová	Vnitřní suché prostory (vyhříváné budovy).
M1	Nevýznamná	Vnitřní prostory s proměnlivou teplotou vzduchu a vlhkostí a významným množstvím znečišťujících látek (nevyhříváné budovy).
M2	Mírná	Vnitřní prostory se zvýšenou vlhkostí a mírnou úrovní znečištění. Venkovní prostředí, vnitrozemské s malým stupněm znečištění (oblast bez velkého osídlení).
M3	Významná	Venkovní prostředí se zvýšenou úrovní agresivních znečišťujících látek (průmyslové oblasti, velké městské aglomerace). Moře a přímořské oblasti, ne místa s ostřikem slanou vodou.
M4A	Velmi významná	Vnitřní prostory s trvalou velmi vysokou vlhkostí nebo nepřetržitou kondenzací. Slaná nebo čerstvá voda a půda.
M4B	Velmi významná	Vnitřní nebo venkovní atmosféra v průmyslových oblastech s vysokou úrovní agresivních látek (papírenský průmysl, rafinerie nebo výroba hnojiv).

Pro porovnání technických vlastností různých typů povlaků může posloužit obr. 2.9. I když se nátěry a zinkové povlaky nanášejí na materiály ze stejného důvodu, z hlediska principu se jedná o dva naprosto odlišné způsoby ochrany materiálu. Zinkový povlak koroduje od povrchu směrem k oceli a chrání ji katodicky i v případě poškození. Ke korozi nedochází mezi zinkovým povlakem a ocelí. Nátěry jsou naopak často poškozovány tím, že se vytvoří vrstva korozních produktů mezi povlakem a ocelí. Pokud je povlak jednou poškozen, rez je schopna pronikat dál dále pod povlak a tím ho poškozovat, protože nátěry nechrání ocel katodicky.^[6]



Obr. 2.9 Porovnání vlastností různých povlaků [6].

3 PŘEDÚPRAVY

Mezi předúpravy materiálu řadíme technologie, které zbavují jeho povrch nečistot tak, aby se získal technicky čistý nebo fyzikálně čistý povrch (čištění ve vakuu). Nečistoty bývají zejména z mastnot a oxidů. K nejčastěji používaným technologiím předúpravy patří:

- otryskávání,
- odmašťování,
- moření,
- fosfátování.^[4]

3.1 Odmašťování

Odmašťování je souhrnný název pro odstranění všech druhů ulpěných nečistot z povrchu materiálu, které jsou k povrchu vázány fyzikální absorpcí (např. látky tukového charakteru) nebo adhézními silami (jemně rozptýlené anorganické nečistoty, prach, kovové třísky). U kovového povrchu je jejich energie vazby ke kovovému povrchu mnohem menší než u nečistot vázaných chemicky, jako např. korozní zplodiny. Lze je tedy odstranit snadněji a beze změny kovového povrchu.

Úkolem odmašťovacích prostředků je uvolnění těchto nečistot z povrchu materiálu, jejich převedení do roztoku nebo emulze a zabránění jejich zpětnému vyloučení (redepozici) na povrchu materiálu.^[3]

Procesy dělíme podle použitého prostředku na odmašťování:

- a) odmašťování v organických rozpouštědlech byl velmi rozšířený způsob čištění, při kterém se mastné látky na povrchu kovu rozpustí a zároveň se uvolní i ostatní ulpělé nečistoty. Většinou nezpůsobují korozi. Pomocí organických rozpouštědel se mohou odstranit i silné vrstvy mastných nečistot. Jejich nevýhodou je, že nevyhovují požadavkům bezpečné a zdravotně nezávadné práce.

Ideální rozpouštědlo by mělo být levné, bezpečné, zdravotně nezávadné, snadno regenerovatelné a univerzálně účinné. Používaná rozpouštědla se ale těmto požadavkům pouze přibližují. Nejvíce se používají ropné produkty (aromatické či lépe alifatické uhlovodíky). Nejčastěji je však používán technický benzín. Pro jeho vysokou hořlavost je nutno při tomto způsobu čištění zachovávat velmi přísné bezpečnostní předpisy. Uplatňují se zejména v menších závodech vzhledem k poměrně nízkým nákladům, technické jednoduchosti a vysoké účinnosti čištění. Často se však opomíná řešení otázky jejich likvidace;

- b) odmašťování v alkalických roztocích je nejrozšířenější způsob čištění kovového povrchu hlavně v galvanice. Účinnost procesu spočívá hlavně v koloidně chemických pochodech, tedy v emulgaci a dispergaci nečistot nejrůznějšího druhu, dále ve zmýdelnění některých mastnot a v zabránění redepozice nečistot na kovovém materiálu. Bývají obohaceny povrchově aktivními látkami. Odmašťování se většinou provádí ponorem nebo postřikem a proti organickým rozpouštědlům je levnější a bezpečnější. Odpadní vody a vyčerpané lázně však musí být likvidovány (neutralizovány) v čistírnách odpadních vod;

- c) emulzní odmašťování využívá jak přímého rozpouštění mastnot v organickém rozpouštědle, tak i jejich emulgaci ve vodném prostředí. Tato metoda je velice účinná i na značně znečištěné povrchy a velké konstrukční celky. Provádí se při ponoru, potíráním (ručně) a postřikem při normální či zvýšené teplotě. Při emulzním způsobu se nedosahuje zcela smáčivého povrchu, přesto je odmaštění postačující. Přípravky jsou zpravidla založeny na směsi účinných ropných rozpouštědel s obsahem speciálních tenzorů a emulgátorů. Jejich odmašťovací schopnost je spolehlivá, dokonale rozpouštějí a emulgují mastnoty a převádějí je do vodou omyvatelné emulze. Odpadní vody musí před vypouštěním do kanalizace projít úpravou vod;
- d) odmašťování pomocí ultrazvuku se uplatňuje zejména při čištění povrchu profilovaných součástí, u nichž se nedosahuje dobrých výsledků při požití běžných čistících prostředků a postupů, zvláště při odstraňování nečistot z různých záhybů nebo malých otvorů. Ultrazvukové zařízení dodává vysokofrekvenční energii z generátorů přes ultrazvukový budič do nádrže s čistící kapalinou, kde dochází k přeměně této energie na energii akustickou, která rozkmitává kapalinu a spolu s kavitačními účinky se zúčastňuje čistícího procesu. Jako čistící kapalina se používají organická rozpouštědla i vodné odmašťovače. Tento způsob je použitelný pouze u předmětů menších rozměrů, které mohou být umístěny do odmašťovacích van vyráběných velikostí;
- e) odmašťování pomocí páry se obvykle aplikuje při čištění povrchu rozměrných zařízení. Je to velmi účinná metoda na odstraňování i zaschlých, zapečených, připálených a jiných nečistot. Tepelný a tlakový účinek páry je možno kombinovat dávkováním odmašťovacího prostředku, případně i s oplachem horkou vodou;^[3]
- f) pro elektrolytické odmašťování se používají alkalické odmašťovací přípravky podobně jako při alkalickém odmašťování. Jejich účinek se ještě zvyšuje působením elektrického proudu. Je tedy možné z povrchu odstranit i pevně lpící nečistoty. Metoda má význam zejména v případech, kdy je třeba dosáhnout odmaštěním co nejčistšího povrchu např. před galvanickým pokovováním. Princip spočívá v tom, že čištěné produkty se zapojí v alkalickém roztoku jako katoda a použije se co největšího stejnosměrného proudu. Vlivem elektrolýzy se na produktech vytvoří silně alkalická zóna o vysoké aktivitě a zároveň nastane silný vývoj vodíku. Vyvíjející se vodík je silně reaktivní a redukuje tenké vrstvy oxidů resp. siřičků. Zároveň dochází k odtrhávání filmů ulpěných na povrchu. Elektrolytické odmašťování je založeno především na mechanickém působení unikajících bublinek plynů na elektrodě. Protože plyny unikají na obou elektrodách, může dojít k vyčištění ocelových předmětů jak v katodickém, tak i anodickém cyklu;^[4]
- g) při odmašťování opalem dochází ke spálení mastnot za tvorby plynných produktů např. oxidu uhličitého, tvorby vrstvy uhlíku a tvorby oxidické vrstvy. Opalování probíhá v rozmezí teplot 300 °C ÷ 700 °C, pod teplotou fázové přeměny A_{c1} . Tento způsob lze použít u velkoplošných dílů plechu, kdy by předcházející způsoby byly

neefektivní z hlediska spotřeby lázni, místa, atd. U tenkých dílů, zejména plechů je nutno počítat s deformací. Dále je třeba počítat podle nastavené opalovací teploty a doby opalování s možností zahájení rekrystalizace v povrchové vrstvě materiálu a tím ke změně velikosti zrna. Dále je třeba počítat s možností nerovnoměrnosti ohřevu povrchu materiálu podle použité opalovací pece (s plynovými hořáky nebo elektrické). Vznik oxidické vrstvy po opalování je nutno odstranit mořením nebo tryskáním.^[4]

3.2 Moření

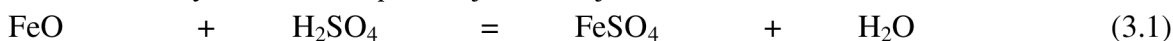
Moření je odstraňování oxidického povlaku (rez, okuje) z povrchu kovového materiálu rozpouštěním v kyselině. Ta proniká póry povlaku na fázové rozhraní oxid – kov, podleptává povlak a vodík, který se uvolňuje při rozpouštění kovu ve formě bublinek podporuje svým tlakem odtrhávání oxidické vrstvy od kovového materiálu.

Wüstit FeO se mořením snadno odstraňuje, magnetit Fe₃O₄ a hematit Fe₂O₃ obtížně. Proto je z hlediska moření nejvýhodnější, je-li vnitřní vrstva oxidů z wüstilu. Ten se v mořící lázni rozpustí a hůře rozpustné vnější vrstvy se odplaví.

V praxi se k moření oceli běžně používá kyseliny sírové, kyseliny chlorovodíkové (solné) nebo fosforečné. Kyselina dusičná a fluorovodíková se k moření oceli používá jen ve směsi s jinými kyselinami.^[4]

3.2.1 Moření v kyselině sírové

Při moření v kyselině sírové probíhají následující reakce:



Během moření postupně vzrůstá obsah železa v lázni rozpouštěním oxidů i základního kovu a tím se mořící lázeň vyčerpává. Je proto účelné lázeň průběžně upravovat. Při dosažení koncentrace železa 50 g/l účinek moření klesá. Ve většině případů pomůže pouze nové nasazení lázně. Moření v kyselině sírové se též nazývá úběrové moření, kdy se ubírá ze základního materiálu z 1 m² povrchu 25 g ÷ 40 g železa.

Nepříznivý vliv má vyvíjející se vodík, který difunduje do kovu a zvyšuje nebezpečí vzniku vodíkové křehkosti. Potlačit její vznik a zlepšit tak využití kyseliny umožňuje použití inhibitorů, které podstatně zpomalují rychlost rozpouštění oceli, při téměř nezměněné rychlosti rozpouštění oxidů. Jako inhibitory se používají látky organického charakteru v koncentraci 0,1 %.

Ocel se moří v kyselině sírové o koncentraci 8 % – 14 % při pracovní teplotě v rozmezí 60 °C ÷ 80 °C po dobu, která je stanovena zkušebně. Běžně se expoziční doba pohybuje mezi pěti až deseti minutami.

Chemické složení povrchové vrstvy oceli ovlivňuje moření. Ocel s obsahem mědi vyšším než 0,1 % zvyšuje přesycení železa vodíkem a současně snižuje mořitelnost.

Rozdíly v chemickém složení povrchu a jádra plechu zejména Cu, Ni, Cr mají vliv na nerovnoměrnost odmořené vrstvy. Dále dochází ke změně drsnosti povrchu oceli po moření.

Povrch ocelového materiálu po moření má vyšší reaktivitu, proto se snadno pokrývá oxidickou vrstvou tzv. úletovou rzi. Proto je vhodné pro další technologické zpracování zařadit po moření pasivaci, která chrání povlak před rychlou oxidací.

Technologický postup moření:

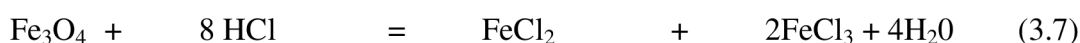
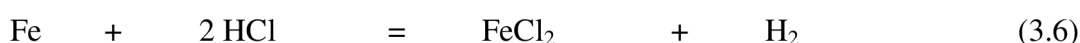
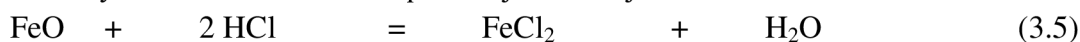
- odmaštění ponorem po dobu $t_t = 20$ minut v roztoku 2 % Na_2CO_3 a 0,5 % Radalodu při teplotě $T = 86$ °C,
- teplý oplach,
- studený oplach,
- moření v 9 % H_2SO_4 po dobu $t = 15$ minut při teplotě $T = 75$ °C,
- teplý oplach,
- studený oplach,
- pasivace v 1% roztoku Na_2CO_3 po dobu $t = 5$ minut při teplotě $T = 90$ °C,
- sušení při teplotě 80 °C ÷ 100 °C.

Při moření dochází k vypařování kyseliny sírové z lázní, proto je nutné z ekologického hlediska zajistit dostatečné odsávání výparů a větrání.

Výhodou moření v kyselině sírové oproti kyselině chlorovodíkové je nižší agresivita výparů a tím korozní účinky na zařízení mořiren a přilehlých prostor. ^[4]

3.2.2 Moření v kyselině chlorovodíkové

Při moření v kyselině chlorovodíkové probíhají následující reakce:



Kyselina chlorovodíková se nasazuje v rozmezí koncentrace 10 % ÷ 20 %, obvykle cca v 15% roztoku, při teplotě místnosti, kde jsou při této teplotě potřebné expoziční doby 10 minut ÷ 50 minut.

Rozpouštění oxidů zde probíhá ve srovnání s kyselinou sírovou rychleji a rovnoměrněji. Rozpouštění oceli (kovu) a tím i vývoj vodíku je pomalejší. ^[4]

4 ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ

Již v roce 1741 objevil francouzský chemik Malouin skutečnost, že zinek je schopen chránit ocel proti korozi. Metoda nebyla příliš použitelná až do doby, kdy další Francouz Sorel zavedl do praxe moření v kyselině sírové jako proces předpravy povrchu. Hlavní část postupu dle Sorela se používá dodnes. Sorel nazval tuto metodu „galvanization“ (galvanické pokovování) s odvoláním na galvanický článek, který se vytvoří v místě porušení zinkové vrstvy. Ocel se v této oblasti stává katodou galvanického článku a je chráněna proti korozi. Tento název byl později přijat i pro jiné metody vytváření zinkového povlaku na oceli a někdy se používá pro elektrolytické nanášení povlaků obecně. Pokovování v roztaveném zinku se česky označuje jako žárové zinkování.^[6]

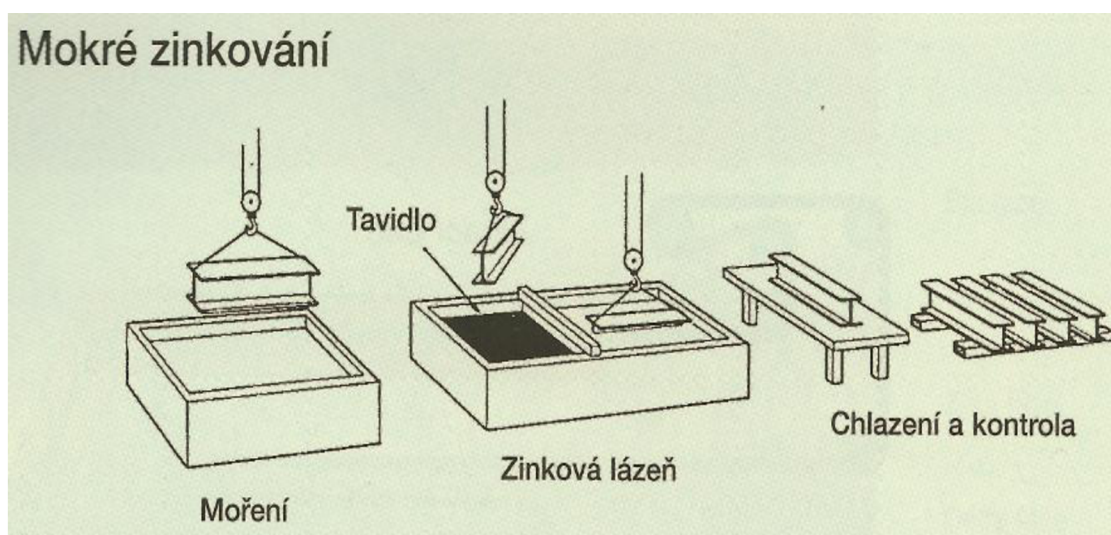
4.1 Technologický postup

Je-li povrch oceli znečištěn barevnými značkami nebo struskou po svařování, je v první řadě třeba tyto nečistoty mechanicky odstranit, například tryskáním nebo broušením.

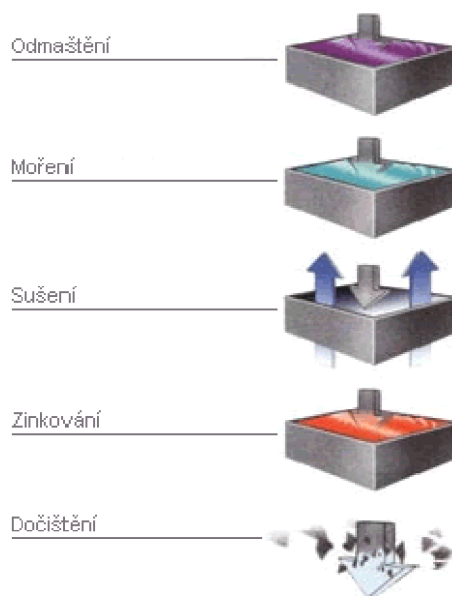
Zbytků formovacího písku je povrch třeba zbavit tryskáním ocelovými broky.

Tuky a oleje se obvykle odstraňují v alkalických odmašťovacích roztocích. Po oplachu vodou se povrch oceli zbaví rzi a okují mořením ve zředěné kyselině chlorovodíkové nebo sírové. Kyselina chlorovodíková se používá častěji.

Před vlastním ponořením zboží do zinkovací lázně je třeba použít tavidlo. Účinkem tavidla dochází k rozpouštění oxidů jak na ocelovém povrchu součásti, tak na povrchu roztaveného zinku. Tím je umožněn přímý kontakt čistých kovových povrchů obou kovů. Používají se dvě různé metody nanášení tavidla – mokrý způsob (obr. 4.1) a suchý způsob (obr. 4.2). Z hlediska kvality a protikorozní ochrany dávají obě metody rovnocenné povlaky.



Obr. 4.1 Schéma mokrého zinkování [6].



Obr. 4.2 Schéma suchého zinkování [13].

Při technologii mokrého zinkování se povrch lázně rozděluje přepážkou na dvě části. Tavidlo (většinou chlorid amonný) se nanese na jednu část povrchu lázně a taví se jejím tepelným účinkem. Ocelové součásti, ještě mokré po moření, se ponořují přes roztaven tavidlo do zinkové lázně. Uvnitř taveniny se předměty přesouvají do části zinkovací vany, která není zakrytá tavidlem. V průběhu této operace se zbytky tavidla postupně odtavují z povrchu výrobků a stoupají k hladině. Spolu s oxidy, které vznikají na povrchu taveniny, se tyto zbytky stírají z lázně. Pokovené součásti se vytahují ven přes tento očištěný povrch. U technologie suchého zinkování se ocelové zboží nejprve moří. Pak následuje oplach ve vodě. V další operaci se součásti ponořují do vhodného tavidla, který je tvořen chloridem zinečnatým a chloridem amonným. Tenká vrstva roztoku solí tavidla ulpělá na povrchu součástí se následně vysouší. Ponoření do roztavené zinkové lázně probíhá již bez dalšího přidávání tavidla.

Před ponořením i vytažením zboží z lázně je třeba odstranit z povrchu taveniny oxidy a zbytky tavidla. Po vyjmutí z vany se součásti chladí ve vodě nebo na vzduchu. Tím je zboží připraveno pro konečnou úpravu, kontrolu a expedici. ^[6]

4.2 Žárové zinkování malých součástí – odstředování

U malých součástí, jako jsou hřebíky, matice, šrouby, podložky atd. se provádí předprava stejným způsobem (viz. 4.1). Součásti se následně plní do děrovaných košů a v nich se ponořují do roztaveného zinku. Po vytažení z lázně se koš odstředí. Rotací se dosáhne odstranění přebytečného množství zinku z povrchu součástí. Ty se zbavují otřepů a odstraní se nerovnoměrnosti naneseného povlaku. Výsledný povlak zinku je slabší a má matnější povrch ve srovnání s klasickým „samostatným“ zinkováním součástí kus po kusu. Klasické zinkování by kromě toho bylo u těchto drobných součástí mnohem nákladnější a bylo by obtížné získat rovnoměrné povlaky v určitých citlivých částech výrobků např. závitech. ^[6]

4.3 Žárové zinkování drátů a trubek

Drát, pásy a trubky se zinkují suchým nebo mokrým způsobem, nebo kombinací obou metod na kontinuálních výrobních linkách. Okamžitě po vytažení ze zinkové lázně se přebytečný zinek z drátu stírá (z trubek ofukuje) za účelem dosažení hladkého a rovnoměrného povlaku. Tloušťku zinkové vrstvy je možné měnit podmínkami operace stíráním nebo ofukováním.^[6]

4.4 Žárové zinkování plechů

Plech se zinkují na kontinuálních výrobních linkách a veškeré operace jsou vzájemně propojeny. Základním materiálem je za studena válcovaný pás ve svitcích. Každý svitek se přivaří k následujícímu a výsledkem je nekonečný pás.

Po odmaštění se pás moří nebo oxiduje. Oxidy se z povrchu odstraňují redukcí redukcí při teplotě 950 °C. Současně se materiál tepelně zpracovává žháním naměkko. Pás s chemicky čistým povrchem pak prochází ochrannou atmosférou přímo do zinkové lázně. Pás je z roztaveného zinku vytahován vertikálně za současného průchodu „vzduchovými stíracími noži“, kde se jemnými proudy vzduchu nebo páry upravuje zinkový povlak na požadovanou tloušťku. Ovládání stírání a tím řízení tloušťky povlaku se provádí pomocí tloušťkoměrů a je počítačově řízeno.

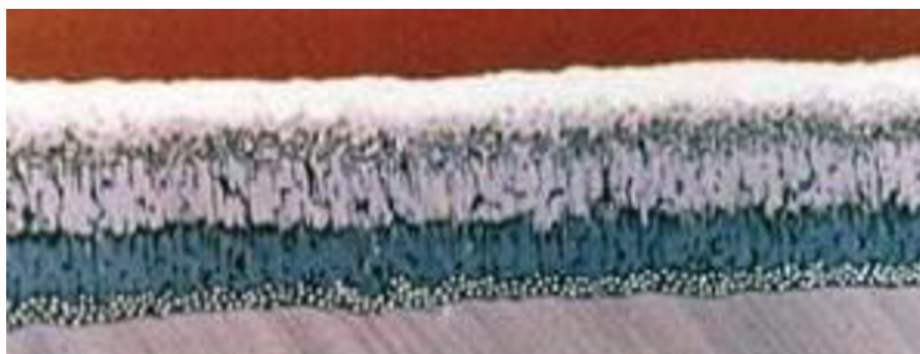
Po ochlazení, rovnání a pasivaci, která povlak chrání proti poškození při skladování ve vlhkém prostředí, se pás podělí na tabule požadovaných rozměrů nebo sroluje do svitků určených k expedici nebo dokončovací operace jako je aplikace plastu, nátěru nebo profilování.

Tenké plechy se zinkují mikroslitiny, nízkolegovanými nebo vysokolegovanými slitinami zinku. Nejdůležitější slitinovou přísadou je ve všech případech hliník. Typický obsah přísad hliníku je 0,2 hm.% u mikroslitin, 5 hm.% u nízkolegovaných slitin a 55 hm.% u vysokolegovaných slitin. Je známo mnoho obchodních názvů těchto materiálů. Z nízkolegovaných slitin je to např. Galfan, mezi vysokolegované slitiny zinku patří Aluzink či Galvalume.^[6]

4.5 Reakce mezi železem a zinkem

Teplota roztaveného zinku bývá při běžném zinkování přibližně 460 °C. Při zinkování drobného zboží (matice, šrouby, podložky, atd.) se teplota lázně pohybuje mezi 550 °C ÷ 560 °C. Při nižších teplotách je možné zinkovat v ocelových vanách. Pro teploty nad 470 °C je třeba používat vany keramické.

V okamžiku, kdy dojde ke kontaktu ocele a roztaveného zinku, proběhne na povrchu vzájemná reakce za vzniku slitinových fází železo – zinek. Tyto fáze tvoří vrstvy, ve kterých klesá obsah železa od rozhraní směrem k povrchu. Po vytažení ze zinkové lázně ulpí na vrstvě slitinových fází vrstva čistého zinku (obr. 4.3).



Nejvýše je vrstva éta - fáze s 0,03 % Fe, pod ní zeta - fáze 5,8 % Fe ÷ 6,7 % Fe, delta fáze 7 % Fe ÷ 11,5 % Fe a gama fáze 21 % Fe ÷ 28 % Fe.

Obr. 4.3 Příčný řez povlakem žárového zinku [12].

Tloušťku povlaku a jeho vzhled ovlivňuje průběh reakce a také způsob tuhnutí vnější zinkové vrstvy. Na průběh reakce má vliv mnoho parametrů. Nejdůležitější je složení oceli (struktura, velikost zrn, pnutí, drsnost povrchu), složení a teplota roztaveného zinku, doba ponoru, atd. Všechny tyto faktory ovlivňují vlastní proces různou měrou. Sled reakcí je komplikovaný a nebyl doposud jednoznačně vysvětlen.^[6]

4.6 Pevnost žárově zinkovaných ocelí

V minulých letech se velké množství experimentů a zkoušek zaměřilo na ověření vlivu žárového zinkování na mechanické vlastnosti nízkouhlíkových, nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.^[6]

4.6.1 Pevnost v tahu, vrubová houževnatost a tažnost

Limitní pevnost v tahu, mez kluzu, poměrné prodloužení při přetržení a kontrakce ocelí se žárovým zinkováním prakticky nemění.

Pevnost ocelí tvářených za studena i tepelně zpracovaných ocelí se může během žárového zinkování snížit. Míra poklesu pevnosti závisí na stupni tváření nebo na typu tepelného zpracování.

Vrubová houževnatost pozinkované oceli v porovnání s uměle vystálými vzorky mírně klesá, ale ne natolik, aby to mohlo ovlivnit použití.

Na tažnost nemá žárové zinkování prakticky žádný vliv. Nadměrné ohýbání však může vést k praskání uvnitř zinkového povlaku.^[6]

4.6.2 Únavová pevnost

Únavová pevnost je žárovým zinkováním ovlivňována různě v závislosti na typu oceli. K relativně malému poklesu pevnosti dochází u neuklidněných a hliníkem uklidněných ocelí, zatímco u ocelí uklidněných křemíkem může být pokles významný.

Příčinou těchto rozdílů je odlišné sležení vrstvy železo – zinek. Při podmínkách únavového namáhání se v této vrstvě vytvoří trhlinky, které pak iniciují praskání v povrchu oceli.

Při zjišťování únavových hodnot experimentálně v laboratoři byl žárově pozinkovaný materiál porovnán s „novou“ nezpracovanou ocelí. Jestliže se tato neupravená ocel vystaví venkovnímu prostředí, je okamžitě napadena korozi. Vznikající důlky jsou pětkrát až

sedmkrát hlubší než u běžné koroze a únavová pevnost rapidně klesá. Podobně je tomu u nátěrových systémů, kde v místě porušení nátěrového filmu dochází ke koroznímu napadení celé poškozené oblasti.

Dokud je zinek v průběhu protikorozní ochrany přítomen na ocelovém povrchu, únavová pevnost žárově zinkované oceli se naopak výrazněji nemění. Důlky se za běžných podmínek u zinkového povlaku nevyskytují.

Snižování únavové pevnosti způsobené žárovým zinkováním je malé ve srovnání s poklesem způsobeným korozním napadením.^[6]

4.6.3 Křehkost, praskání

Tváření za studena snižuje vrubovou houževnatost a zvyšuje přechodovou teplotu ke křehkému lomu. Následné stárnutí při zvýšených teplotách ještě zvýrazňuje tento efekt. V případě, že se jedná o samovytvrzovatelnou ocel, může účinek tváření za studena účinek tváření za studena dokonce způsobit, že ocel ztratí požadovanou houževnatost. Proces stárnutí se při zvýšené teplotě zinkovací lázně v některých případech urychlí. Tyto oceli však mívají tendenci křehnout i v případech, kdy nejsou žárově zinkovány.

Z hlediska žárového zinkování je důležité vědět, zda předměty byly či nebyly tvářeny za studena. Neuklidněná ocel je obzvláště citlivá. U ocelí uklidněných křemíkem je citlivost méně výrazná. Na hliníkem uklidněný materiál působí deformace za studena a stárnutí v průběhu zinkování negativně. Jestliže se není možné tváření za studena vyhnout, je třeba vzniklá pnutí před vlastním zinkováním odstranit zahřátím na teploty $600\text{ }^{\circ}\text{C} \div 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ (doba zpracování 30 minut) nebo normalizačním žiháním.

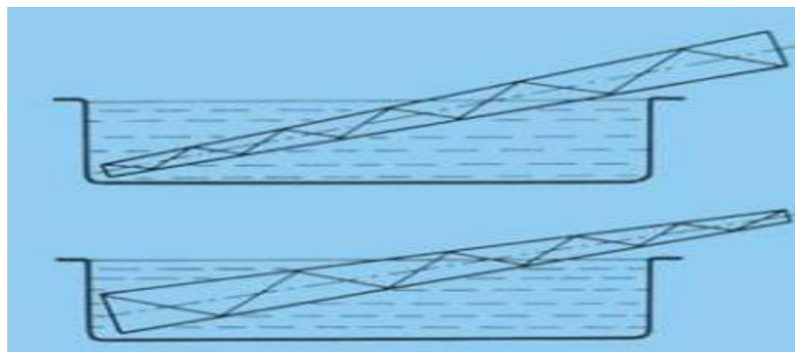
Žárové zinkování nezpůsobuje u běžných nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelí zvýšení vodíkové křehkosti. Vodík, který může být absorbován v průběhu moření, se většinou uvolní teplem při ponoření do zinku. Absorpce vodíku může ale vést ke křehkosti u některých kalených nebo vysokopevnostních ocelí. Před žárovým zinkováním větších sérií těchto ocelí by se měly provést zkoušky.

Při žárovém zinkování může v některých případech dojít k mezikrystalickému praskání, které je způsobené penetrací zinku do hranic zrn ocele. Příčinou tohoto jevu jsou velká pnutí, která vznikají při svařování nebo kalení.

Riziko mezikrystalického praskání nebo lomu způsobeného proniknutím zinku při zinkování je u běžných typů konstrukčních ocelí nepatrné. Nebezpečí prasknutí se dá minimalizovat, jestliže se ocel předem vyžihá při teplotě vyšší, než je teplota zinkové lázně, tedy nad $460\text{ }^{\circ}\text{C}$.^[6]

4.7 Projektování a výroba konstrukcí

Návrh konstrukcí určených pro žárové zinkování se od ostatních způsobů obecně příliš neliší konstrukčně ani povrchovým zpracováním. Některé součásti ale vyžadují zvláštní pozornost. Při zinkování větších konstrukčních celků je třeba brát v úvahu velikost mořicích a zinkovacích van. Někdy se používá tzv. dvojí ponoření (obr. 4.4), které umožňuje pokovení delších součástí, než je zinkovací vana.^[6]



Obr. 4.4 Schéma žárového zinkování s dvojitým ponořením [12].

4.7.1 Bezpečnostní požadavky

Žárové zinkování zahrnuje ve své technologii ponořování součástí a konstrukcí jak do kyseliny, tak do roztaveného zinku. To znamená, že duté konstrukce (trubky, nádoby, potrubí) musí být opatřeny otvory pro odtok kapalin a odvodu vzduchu. Jestliže dané množství otvorů není schopno zajistit úplné odvodu vzduchu, je velké riziko, že se konstrukce při ponoru roztrhne. Vhodné rozměry odvodňovacích či výtokových otvorů jsou znázorněny v tabulce 4.2.

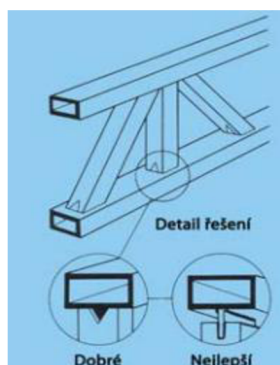
Tab. 4.2. Vhodné velikosti výtokových otvorů pro trubkové konstrukce [6].

Vnitřní průměr trubky (mm)	Průměr otvoru (mm)
Méně než 13	5 ÷ 6
13 ÷ 25	6 ÷ 8
25 ÷ 40	8 ÷ 10
40 ÷ 50	10 ÷ 15
50 a více	více než 15

Mořící kyselina je schopna pronikat i do pórů ve svařech. Při ponoření do lázně se pak zbytky kyseliny vypařují a vzniklý tlak může být tak velký, že dojde opět k roztržení dílce. Při explozi je velké riziko ohrožení zdraví obsluhujícího personálu a dochází i k materiálním škodám. ^[6]

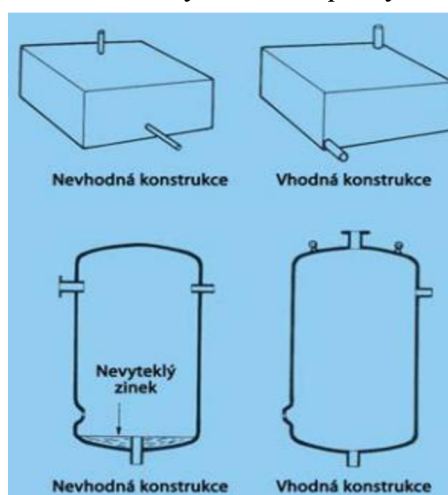
4.7.2 Projekční hlediska

- Respektování následujících pokynů (obr. 4.5) není nutnou podmínkou pro žárové zinkování, ale při jejich dodržení je pravděpodobné, že bude dosaženo lepší kvality povlaků a zinkování bude snadnější;



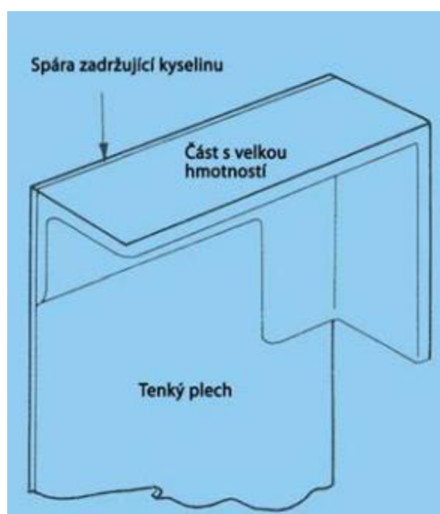
Obr. 4.5 Umístění výtokových otvorů u svařovaných konstrukcí [12].

- Přednost by se měla dát dílům se snadnou manipulací, které se smontují až po žárovém zinkování. Vhodné je např. spojování pomocí šroubů. Konstrukce i jednotlivé kusy by měly být opatřeny otvory nebo oky, pomocí kterých se s nimi manipuluje zdvihacím zařízením. Je nutné se vyhnout vnitřnímu přesahu u trubek, které ústí do nádob. Zaústění těchto trubek by mělo být umístěno diagonálně v rozích. Jinak není možné z nádoby odstranit přebytečný zinek (obr. 4.6);



Obr. 4.6 Umístění výtokových otvorů [12].

- Zajištění pohyblivosti, díly pohyblivé by se měly montovat hned po pozinkování. V případě, kdy to není možné, se pohyblivost součástí zajistí vhodnými rozměry (vůle asi 1 mm na každé straně dílu).
Na jedné konstrukci nebo výrobku by se neměly kombinovat materiály s příliš rozdílnými tloušťkami (obr. 4.7). Prohřívání v lázni je pak nerovnoměrné a může dojít k deformaci dílce. Je dobré vyhnout se i dlouhým a štíhlým konstrukcím. Rozměrné rovné plochy o tloušťce základního materiálu menší než $3 \text{ mm} \div 4 \text{ mm}$ by se měly vyztužit, jinak se rovněž mohou deformovat;



Obr. 4.7 Nevhodná kombinace tloušťky materiálů [12].

- Konstrukce by se měly, pokud je to možné, navrhovat tak, aby zinek v době, kdy se díl vytahuje ze zinkové lázně, mohl volně stékat z celého povrchu. Jinak se získá nerovnoměrný povlak;
- Vnější závit se musí vyřezávat na menší než jmenovitý rozměr, aby na ně bylo možné po zinkování našroubovat odpovídající matice. Vnitřní závit se po zinkování řezou nebo čistí na jmenovitý rozměr. Také vnější závit je u montovaných součástí třeba po zinkování vyčistit. Zinkový povlak na vnějším závitě chrání zároveň i vnitřní nepokovený závit;
- Nezbytným předpokladem kvalitního žárového zinkování je čistý povrch ocele. Je třeba zajistit, aby povrch nebyl znečištěn nátěry, tuky, olejem a dehtem. Nečistoty tohoto typu nelze odstranit mořením a při zinkování způsobují vznik nepokovených míst. Takováto znečištění lze odstranit odmaštěním, pískováním nebo broušením. Někdy je těžké tyto nečistoty předem identifikovat. Pokud se projeví až při zinkování, zboží je třeba přezinkovat. ^[12]

4.8 Nátěry žárově pozinkovaných ocelí – duplexní systémy

Mnoho analýz prokázalo, že duplexní systém (žárový zinek kombinovaný s nátěrem) je z hlediska nákladů nejefektivnější způsob ochrany oceli, zejména z důvodu prodloužení životnosti do první opravy nátěru. Přestože i samotný žárový zinek zajišťuje zcela uspokojivou ochranu proti korozi, je ho v případě použití v agresivních prostředích vhodné doplnit dodatečnou ochranou. Výhodné je to v případech, kdy budoucí údržba je jen obtížně proveditelná, nebo pokud je zinkový povlak tenký, jako je tomu u plechů s malou tloušťkou.

Estetické důvody hrají také svou roli, protože nátěry zajistí matným šedým zinkovým povlakům lepší vzhled. Mohou zvýraznit přítomnost konstrukce v určitém prostředí, upozornit na ni, nebo ji naopak zamaskovat. Dalším důvodem pro použití nátěrů může být izolace proti vzniku galvanického článku v případech, kdy je pozinkovaná ocel spojena s jiným materiálem, např. mědí. ^[6]

4.8.1 Životnost duplexního systému

Duplexní systém má obecně mnohem delší životnost než každý z obou povlaků samostatně. Experimenty prokázaly, že životnost tohoto systému je možné vypočítat podle následujícího vzorce:

$$L_T = K * (L_{Zn} + L_F) \quad (4.1)$$

L_{Zn}odhadovaná životnost povlaku v letech

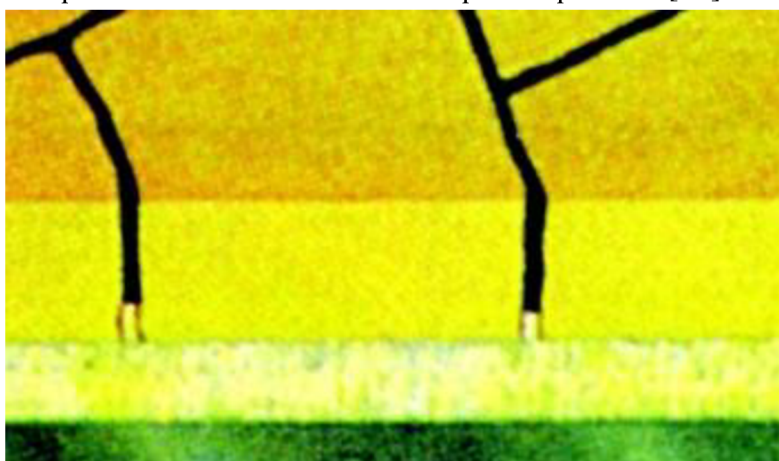
L_Fodhadovaná životnost nátěru v letech

Kfaktor závislý na prostředí (nabývá hodnot 1,5 ÷ 2,3, nižší číslo se používá pro agresivnější prostředí např. mořská voda)

Způsob, jakým se mění faktor K je patrné z obrázků 4.9 a 4.10. Je samozřejmé, že pozinkovaný povrch se musí správně připravit, aby byla zaručena trvalá přilnavost nátěru. Toho důvodu je nutné povrch zcela očistit a vybrat vhodný typ nátěru. Natírání vyžaduje poněkud vyšší péči, než je tomu jiných materiálů. Malé množství nečistot, nebo nesprávný typ nátěru mohou vést k předčasnému tvoření puchýřů anebo odlupování. [6]



Obr. 4.9 Schematický náčrt povlaku nátěru na oceli, kde mikrotrhlínky umožnily podkorodování a následné odlupování povlaku [16].



Obr. 4.10 Mikrotrhlínky v povlaku nátěru na žárově pozinkovaném materiálu se vyplní korozními produkty zinku, které mají menší objem než korozní produkty ocele, a proto nezpůsobují odlupování nátěru [16].

4.8.2 Čištění a předúprava povrchu

Nejlepší základ pro dobrou přilnavost nátěru na žárově zinku je lehké tryskání. Jeho mírným mechanickým účinkem se z povrchu odstraní všechny korozní produkty a další nečistoty, dokonce i vodou rozpustné látky. Zinkové povlaky jsou často hladké a lesklé. Tryskání je prospěšné, protože způsobí zdrsňení povrchu, které umožňuje lepší mechanické zakotvení nátěrového filmu.

Doporučené parametry pro lehké tryskání pozinkovaných povrchů jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 Podmínky jemného tryskání zinkových povlaků [6].

Tryskací prostředek	Oxid hlinitý nebo korund, křemičitany, olivinová struska
Velikost granulí	0,2 mm ÷ 0,5 mm
Tlak v trysce	0,2 mm ÷ 0,3 MPa
Vzdálenost trysky	300 mm ÷ 500 mm
Úhel tryskání	30 °C ÷ 60°
Podmínky prostředí	20 °C ÷ 25 °C
Relativní vlhkost	Více než 50 %
Drsnost povrchu	Jemný (dle ISO 8503/2 (G))
Nanášení primeru	Nejpozději 20 min. ÷ 45 min. po otryskání

Dodržování parametrů je důležité. Nedostatečné očištění může zmenšit přilnavost nátěrů, zatímco přílišné mechanické působení může narušit zinkovou vrstvu nebo vnést do povlaku napětí, které může následně způsobit odlupování nátěru. Při dobře provedeném lehkém tryskání dojde k odstranění zhruba 10 µm vrstvy.

Není-li možné použít očištění lehkým tryskáním, doporučuje se pro průmyslovou aplikaci nátěrů následující postup:

- Alkalické odmaštění,
- Důkladný oplach vodou,
- Fosfátování (železnatý nebo zinečnatý fosfát),
- Důkladný oplach vodou,
- Sušení,
- Aplikace nátěru.

Pro technologii ručního natírání se doporučuje odmaštění emulzními odmašťovacími činidly, přednostně kombinované s kartáčováním nebo lapováním nylonovou tkaninou, po kterém následuje důkladný oplach nejlépe tlakovou vodou. Některá odmašťovací činidla obsahují složky, které rozpouštějí oxidy. To může být výhodné tehdy, když není známé složení korozních produktů.^[6]

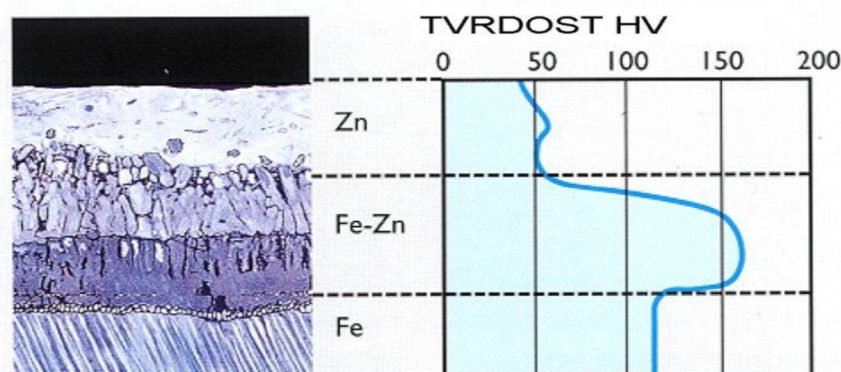
4.10 Výhody žárového zinkování

Žárové zinkování spolehlivě poskytuje různé přednosti, které jinými protikorozními ochranami nelze dosáhnout. Z tohoto důvodu je tento způsob hojně využíván jak zpracovateli ocelí, tak i výrobci různých kovových výrobků. Dlouhodobá životnost: extrémně dlouhodobá protikorozní ochrana (obr. 4.11). Za normálních podmínek chrání před korozi déle než 40 let a za zhoršených podmínek (např. v průmyslovém prostředí nebo na mořském pobřeží) je životnost zpravidla delší než 25 let.

DRUH systému protikorozi ochrany	Doby účinnosti povlaků a nátěrů proti korozi v letech při venkovních účincích středoevropského klimatu až do nasoupení koroze základního kovu.															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Ocel galvanicky pozinkovaná (5 μm)	█															
Ocel žárově pozinkovaná kontinuálně	█	█	█	█	█											
Ocel pozinková žárovým nástřikem (10 μm)	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Ocel žárově pozinková ponorem (10 μm)	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Ocel žárově pozinková ponorem (10 μm) + nátěrový systém 2x80 μm	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Obvyklý nátěrový systém 16 μm	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

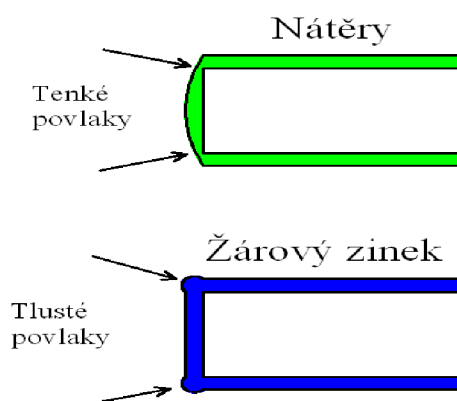
Obr. 4.11 Doby účinnosti protikorozi ochrany [8].

- **Odolnost:** Povlak vytvořený žárovým zinkováním se vyznačuje specifickými vlastnostmi. Kovový povlak spojený se základní ocelí slitinovou mezivrstvou je odolný proti poškození při transportu, montáži a provozu (obr. 4.12). Takovéto vlastnosti prakticky nelze jiným způsobem dosáhnout;



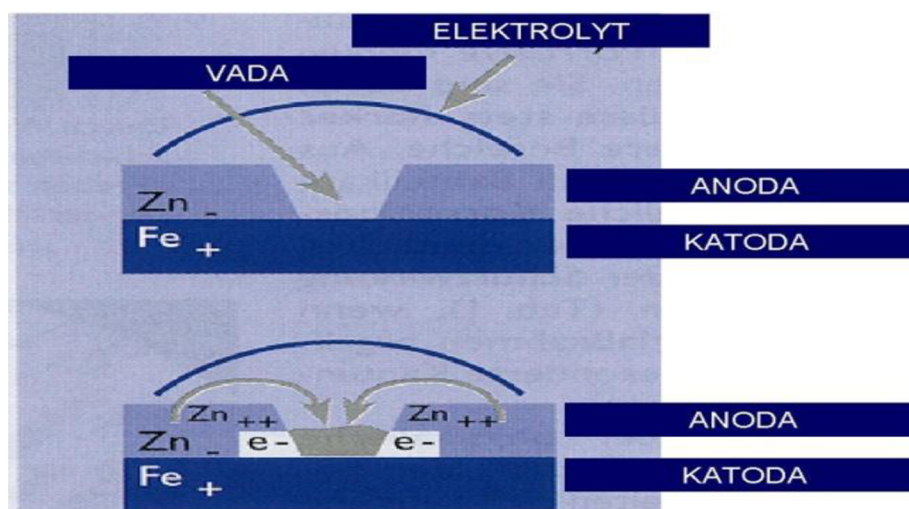
Obr. 4.12 Tvrdost žárově zinkovaného povrchu [8].

- **Cena:** Náklady na realizaci systému ochrany zpravidla nejsou vyšší než náklady na jiné konvenční ochranné systémy pro ocel. Jako průmyslový způsob s vysokou spolehlivostí jej lze provést velmi hospodárně;
- **Příznivé pro životní prostředí:** Žárové zinkování je příznivé pro životní prostředí ze dvou hledisek. Jednak jsou v důsledku snahy o hospodárnou produkci v pozinkovnách redukovány exhalace, odpady i odpadní teplo, a to současně za jejich recyklace. Na druhé straně i pozinkovaná ocel má delší životnost;
- **Optimální v dutinách a na hranách:** S aplikací konvenční protikorozi ochrany jsou spojeny především problémy na hranách a v rozích (obr. 4.13), protože zde je ochranná vrstva příliš tenká. Tyto oblasti nepředstavují žádný problém pro žárové zinkování, protože povlak na hranách, v rozích, v koutech a v dutinách má stále stejnou kvalitu;



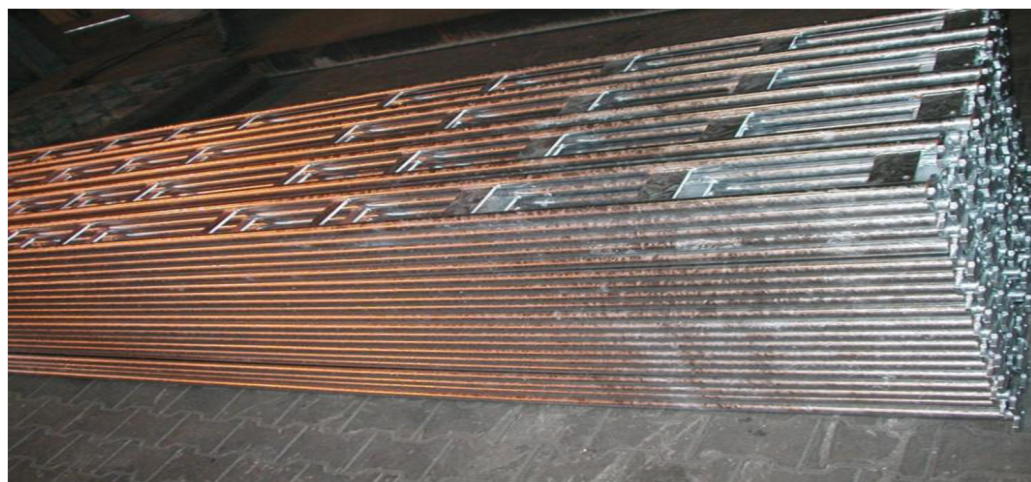
Obr. 4.13 Rozdíl mezi nátěrovým povlakem a povlakem zinku [6].

- Úspora času: Zinkování lze provést v krátké lhůtě, vždy za optimálních podmínek zcela nezávisle na počasí;
- Katodická ochrana: Dojde-li při transportu, montáži nebo provozu k poškození, sehrává významnou roli katodická ochrana (obr. 4.14). Ta vytvoří bariéru elektrochemickým způsobem. Tento jev vylučuje možnost koroze u poškození menšího rozsahu;



Obr. 4.14 Katodická ochrana zinkového povlaku [8].

- Dobrý vzhled: Povlak zdůrazňuje charakter a vlastnosti oceli. Kovový vzhled zůstává zachován právě tak, jako povrchová struktura. Vzhled kovového povlaku zinku je přijatelný a vizuálně tvoří se základním kovem jednotu.^[8]
- Bez dodatečného ošetření: Produkty nevyžadují žádnou dodatečnou péči, proto tato technologie patří k cenově výhodným dlouhodobým ochranným systémům pro ocel;
- Snadná kontrola: Povlak může být i laikem snadno zkontrolován (Obr. 4.15). Chyba se snadno pozná, nedá se překrýt. Jeví-li se zinkový povlak jako rovný a rovnoměrný, pak takový ve skutečnosti také je.



Obr. 4.15 Vizuální rozdíl podoby pozinkovaného resp. nepozinkovaného povrchu [8].

4.11 Nevýhody žárového zinkování

- Zinkování možné pouze na stabilním zařízení,
- Barvu povlaku je možné změnit pouze aplikací nátěru,
- Rozměry dílů nebo konstrukcí jsou limitovány velikostí zinkovací vany,
- Je zde určité riziko deformací účinkem tepelného působení lázně, především u rozměrných plošných dílů z plechu a dlouhých, štíhlých nosníků,
- Svařování pozinkované oceli může vyžadovat poněkud odlišný postup v porovnání s nepokovenou ocelí.^[6]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Hardox a Weldox jsou obchodní názvy a ochranné známky švédské firmy SSAB Oxelösund AB, která je vyrábí a dodává. Oba materiály jsou dodávány jako plechy. Oba typy mají podobné chemické složení a způsob tepelného zpracování. Většinou se jedná o kalené ocelové plechy s nízkým obsahem uhlíku a legujících prvků tak, aby při vysokých hodnotách pevnosti (resp. tvrdosti) byla zajištěna jejich technologičnost. Hlavní rozdíl při jejich výrobě je v závěrečné fázi tepelného zpracování - popouštění. Zatímco oceli Hardox se nepopouštějí, nebo se popouštějí jen na nízké teploty (cca 200 °C), Weldox se popouštějí za vysoké teploty (cca 600 °C). Vyšší popouštěcí teplotou vznikne jiná rovnováha mezi pevností a houževnatostí (úroveň houževnatosti je povýšena na úkor pevnosti resp. tvrdosti).^[15]

5.1 Hardox

Hardox jsou otěruvzdorné oceli, které splňují přísné požadavky na odolnost proti opotřebení. Unikátní kombinace vysoké tvrdosti, vysoké pevnosti a výborné houževnatosti umožňuje použitelnost tohoto materiálu v širokém spektru aplikací.

Hardox jsou kalené a popouštěné otěruvzdorné plechy, které byly vyvinuty v SSAB Oxelösund. Na trhu byl tento materiál představen v roce 1970 a průběžně byl dále vyvíjen tak, aby maximálně splňoval požadavky zákazníků. Celosvětově se značka stala synonymem pro vysokou kvalitu, dobrou rovinnost a kvalitu povrchu.

Ačkoliv jsou plechy Hardox třikrát až čtyřikrát tvrdší než normální ocelové plechy, jejich výborná svařitelnost a přijatelná obrobitelnost umožňuje jejich snadné zpracování.

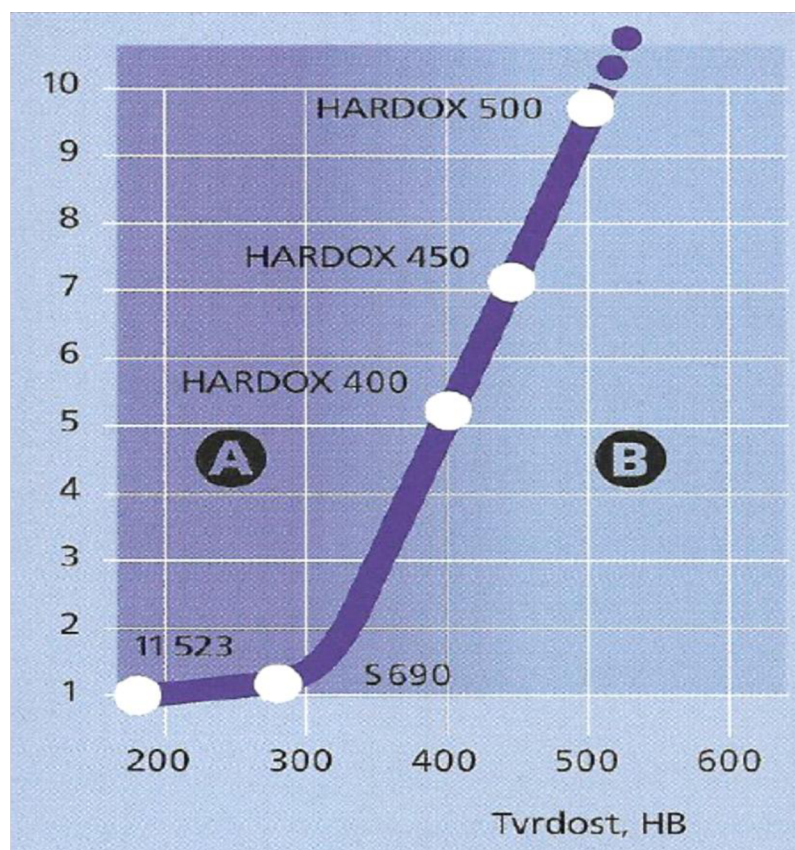
Tyto plechy byly vyvinuty, aby odolávaly opotřebení. Konkrétní doba životnosti závisí na zpracovaném materiálu a typu opotřebení, kterému je plech vystaven.

Při zpracování minerálů je zařízení obvykle namáháno několika způsoby - třecí a rázová abraze je často kombinovaná s velkou deformací. Tyto rozdílné druhy namáhání by normálně vyžadovaly rozdílné materiály s rozdílným složením a vlastnostmi. Nicméně tyto plechy s tvrdostmi 400 nebo 500 Brinellů mohou odolávat většině typů namáhání.

Životnost oceli Hardox 400 může být až pětikrát vyšší než u normálního ocelového plechu (11523). V některých případech může ocel Hardox 500 odolávat abrazi až třikrát déle než Hardox 400.^[10]

5.1.1 Rozdílné typy opotřebení

Otěruvzdorné plechy jsou namáhány dvěma druhy abraze (obr. 5.1). V případě A, tvrdý minerál zpracovávaný horniny může vyřezávat z plechu mikrotržsky kovu (vysokonapěťová abraze). Povrch plechu není v tomto případě dostatečně tvrdý, aby odolával tomuto agresivnímu typu opotřebení. V případě B, není zpracovávaný minerál dostatečně tvrdý na to, vyřezával třísky z plechu. Povrch je v tomto případě pouze "hněten" (nízkonapěťová abraze). Nicméně i v případě nízkonapěťové (deformační) abraze se "hnětený" povrch opakovaním procesu unaví a dojde k uvolňování částic kovu z povrchu plechu. Křivka v grafu na obrázku ukazuje, jak se mění životnost plechu s jeho stoupající tvrdostí. Dosáhne-li se použitím plechu Hardox změny charakteru abraze na nízkonapěťovou, dosáhne se přibližně pětinasobku životnosti oproti normální oceli.^[10]



Obr. 5.1 Rozdílné typy opotřebení [10].

5.1.2 Mechanické vlastnosti

Jakosti Hardox (400, 450, 500) mají ve srovnání se svou tvrdostí a houževnatostí nízké hodnoty uhlíkového ekvivalentu. Důsledkem je velmi dobrá svařitelnost. Stejnorodá kvalita, výborná rovinnost a kvalita povrchu jsou dalšími charakteristickými znaky těchto plechů. Oceli mohou být otryskané a natřené protikorozním primerem. Systém kvality SSAB Oxelösund je certifikován podle ISO 9001. ^[10]

Tab. 5.1 Hardox mechanické vlastnosti [10].

	Hardox 400	Hardox 450	Hardox 500
Tvrdost Brinell HB	370 ÷ 430	425 ÷ 475	470 ÷ 540
Tloušťka	4 mm ÷ 130 mm	4 mm ÷ 80 mm	4 mm ÷ 80 mm
Vrubová houževnatost KV, podél při - 40°C	45 J	35 J	30 J
Pevnost: Mez kluzu $R_{p0,2}$ Mez pevnosti R_m Tažnost A_5	1000 N / mm ² 1250 N / mm ² 10%	1200 N / mm ² 1400 N / mm ² 10%	1300 N / mm ² 1550 N / mm ² 8 %
Uhlíkový ekvivalent Pro tloušťku 20 mm	0,37 / 0,26	0,47 / 0,34	0,60 / 0,42

5.1.3 Hardox - vlastnosti

Pro svoji pevnost mají plechy vyšší tvarovou stabilitu a mohou odolávat většímu množství trvalé deformace. Takto mohou být použity i tenčí plechy, což zvyšuje nosnost zařízení. Výborná rovinnost má také velký význam, např. při výrobě koreb. Plechy Hardox 400 byly testovány rázovou zkouškou. Hmotnosti padajícího závaží byly 150 kg ÷ 800 kg a dopadová výška byla 1 m ÷ 3 m. Mnohem menší deformace odpovídá vyšší pevnosti (Obr. 5.2).

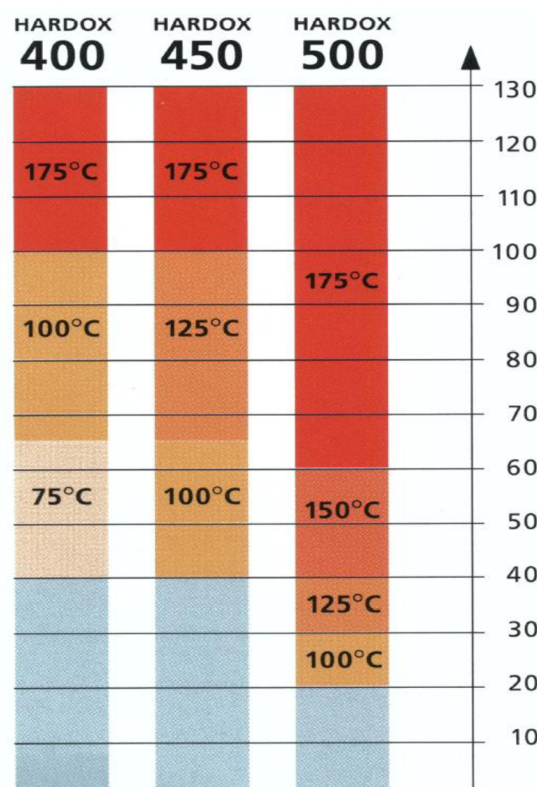


Obr. 5.2 Rázová zkouška oceli Hardox 450 [9].

Nejedná se ovšem pouze o otěruvzdorný plech. Jeho houževnatost je velmi vysoká a je schopen odolávat rázům i při velmi nízkých teplotách. Hardox můžeme považovat za ocel odolnou rázovému namáhání. Tato vlastnost je výsledkem precizního chemického složení oceli a optimálního výrobního procesu.

Možnost používat obyčejných strojů pro frézování, vrtání, zahlubování a řezání závitů dělá oceli velice ekonomickými. Další výhodou jsou výborné vlastnosti při pálení, ohýbání a svařování. Dokonce i v situacích, kdy se jiný materiál jeví otěruvzdornější se volí často Hardox. Vyplatí se to při opravách, kde je velmi důležité minimalizovat odstávky.

- Dělení : Ve všech případech dělení "za tepla" je řezná hrana tepelně ovlivněná. Plechy velkých tloušťek by měly být před pálením předehřáty (Obr. 5.3). Oceli mají úsporné chemické složení s rozsahem uhlíkového ekvivalentu od 0,33 do 0,73. Je důležité zabránit všemu, co by mohlo zvýšit množství vodíku ve svarovém kovu a takto umožnit případný vznik vodíkového praskání svarového spoje. Jestliže svařovaný díl nemůže být předehřán, lze použít pro svařování austenitické elektrody. Při dělení malých kusů, nebo aby se minimalizovala ovlivněná zóna, je možné použít dělení laserem nebo vodním paprskem. Při dělení vodním paprskem pak má dělená hrana stejnou tvrdost jako ostatní materiál. V případě dělení laserem je tepelně ovlivněná zóna velmi malá;



Obr. 5.3 Předehřev ocelí Hardox [10].

- Ohýbání a zakružování: Čistota, rovinnost a stejnorodá kvalita plechů umožňuje jejich ohýbání a zakružování. V tabulce 5.2 jsou uvedeny příklady doporučených minimálních hodnot pro volné ohýbání pro různé tloušťky plechů a různé rozteče matrice.

Při ohýbání plechů 450 a 500 existuje nebezpečí, jestliže plech praskne, že se část materiálu odštípne a odlétne ve směru ohýbání. To je způsobeno vysokou pevností plechu a tedy potřebou vysoké síly pro ohýbání;

Tab. 5.2 Příklady doporučených minimálních hodnot pro volné ohýbání pro různé tloušťky plechů [10].

Ohýbání					
Jakost	Tloušťka [mm]	⊥ R/t	∥ ² R/t	⊥ W/t	∥ ² w/t
Hardox 400	$t < 8$	2,5	3,0	8,5	10,0
	$8 \leq t < 20$	3,0	4,0	10,0	10,0
	$t \geq 20$	4,5	5,0	12,0	12,0
Hardox 450	$t < 8$	3,5	4,0	10,0	10,0
	$8 \leq t < 20$	4,0	5,0	10,0	12,0
	$t \geq 20$	5,0	6,0	12,0	14,0
Hardox 500	$t < 8$	4,0	5,0	10,0	12,0
	$8 \leq t < 20$	5,0	6,0	12,0	14,0
	$t \geq 20$	7,0	8,0	16,0	18,0

- Obrábění: Oceli mohou být obráběny jakýmkoliv nástrojem s vyměnitelnými břitovými destičkami na stabilním, nevybružícím zařízení. Vrtány mohou být na robustních radiálních vrtačkách. V tabulce 5.3 jsou udány některé parametry pro vrtání. Jako nástrojů musí být použito tuhých, HSS-Co vrtáků. Při použití vhodných nástrojů mohou být i zarovnány a zahlubovány. Při obrábění, zejména při soustružení, mohou vznikat dlouhé třísky. Toto je zapříčiněno vysokou čistotou oceli. ^[10]

Tab. 5.3 Parametry při vrtání oceli Hardox [10].

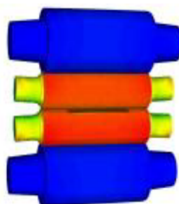
Vrtání							
Jakost	Řezná rychlost [ot/min]	Průměr otvoru [mm]					
		Ø 10		Ø 20		Ø 30	
		rpm	posuv	rpm	posuv	rpm	posuv
Hardox 400	8 ÷ 10	290	0.1	150	0.2	90	0.3
Hardox 450	6 ÷ 8	190	0.1	95	0.2	65	0.3
Hardox 500	4 ÷ 6	130	0.1	65	0.2	45	0.3

5.2 Weldox

Metalurgie založená na železné rudě. Moderní plynulé odlévání oceli zajišťuje vysokou kvalitu **bram** s precizním chemickým složením a velmi nízkým obsahem nežádoucích prvků. Tyto výchozí podmínky jsou základem pro dobrý konečný produkt.

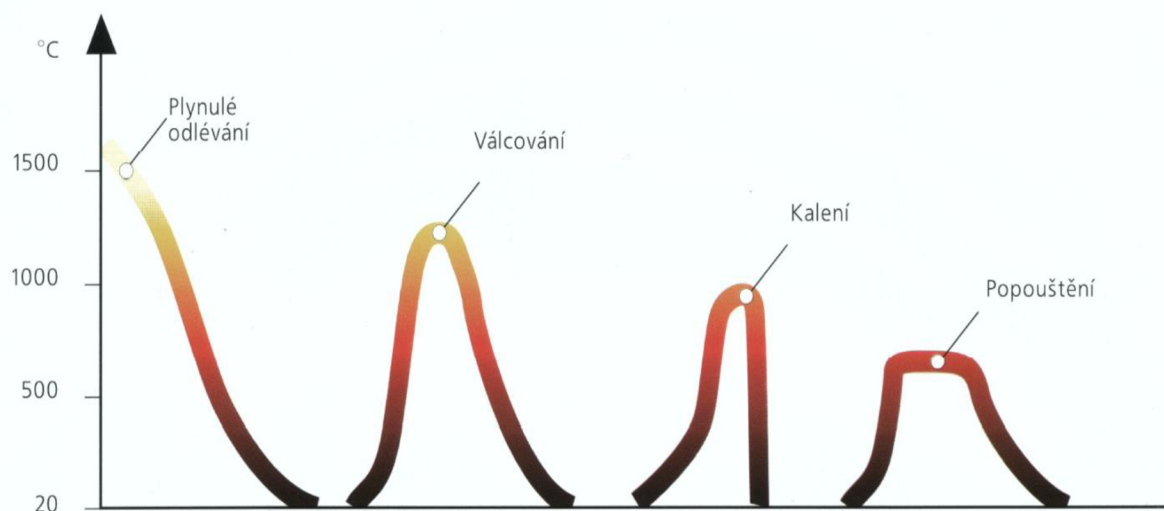
Brámy jsou jednotlivě ohřívány na 1200 °C a poté válcovány na kvarteto stolici (obr. 5.4) přesně na požadovanou tloušťku a mikrostrukturu, která je nejlépe vhodná pro následný proces ochlazování.

Plechý určené pro kalení a popouštění jsou poté ochlazeny na vzduchu a přepraveny do kalírny.



Obr. 5.4 Kvarteto válcovací stolice [5].

Oceli jsou Weldox jsou kaleny a popouštěny. To znamená prudké ochlazení z teploty 900 °C na pokojovou teplotu proudem vody v kalícím lisu. Po následném popouštění na 580 °C ÷ 650 °C mají plechy vysokou pevnost, jednotnou ve všech místech, dobrou houževnatost a výbornou opracovatelnost a technologičnost. Intenzivním kalením v proudu vody ve válcovém kalícím lisu lze minimalizovat množství legujících přísad. Celý výrobní proces je znázorněn na obr. 5.5. ^[11]



Obr. 5.5 Weldox - schéma výrobního procesu [11].

Tab. 5.4 Mechanické vlastnosti ocelí Weldox [11].

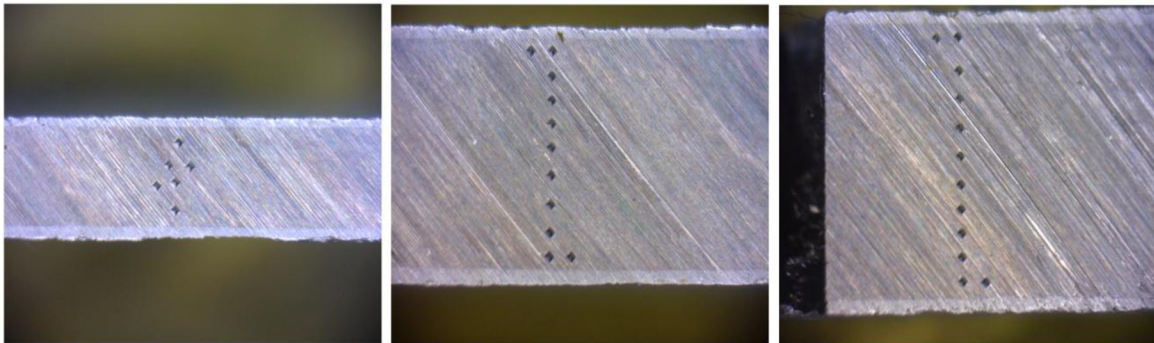
Označení	Tloušťka [mm]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]
Weldox 700	4 ÷ 50	700	780 ÷ 930
	(50) ÷ 100	650	780 ÷ 930
Weldox 900	4 ÷ 50	900	940 ÷ 1100
	(50) ÷ 80	830	880 ÷ 1100
Weldox 960	4 ÷ 50	960	980 ÷ 1150
Weldox 1000	5 ÷ 40	1100	1200 ÷ 1500

5.3 Zkoumané vzorky

Změny mechanických vlastností materiálu vlivem žárového zinkování byly zkoumány na těchto vzorcích:

- Hardox 500 tloušťky 6 mm,
- Weldox 700 tloušťky 5 mm,
- Weldox 500 tloušťky 2,2 mm.

U zkoumaných materiálů byla měřena tvrdost dle Vickerse (do zkušebnímu materiálu se kolmo vtlačuje pravidelný čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° a měří se střední délka úhlopříček průniku do materiálu^[19]). Z naměřených výsledků je patrné, že se pevnost zinkováním snižuje, přičemž u menších průřezů materiálu není pokles tak významný. S rostoucí tloušťkou se ale zvyšuje. Na obr. 5.6 jsou zobrazeny povrchy pozinkovaných vzorků po provedení této zkoušky. V tabulce 5.5 jsou naměřené tvrdosti zkušebních plechů před nanášením zinkového povlaku a po zinkování. Tloušťky povlaku jsou uvedeny v tab. 5.6, přičemž průměrná tloušťka povlaku u oceli Weldox 500 činí 268 μm , u plechu Weldox 700 je to 269 μm a Hardox 500 dosahuje tloušťky 288 μm .



Weldox 500

Weldox 700

Hardox 500

Obr. 5.6 Povrchy zkušebních pozinkovaných materiálů po měření tvrdosti.

Tab. 5.5 Tvrdosti sledovaných vzorků.

Před zinkováním		
Weldox 500	Weldox 700	Hardox 500
HV 10	HV 10	HV 10
277	302	365
268	296	365
259	290	371
262	290	378
248	287	382
250	283	378
	296	380
	298	369
	298	361
	299	367
		379
		375
Po zinkování		
Weldox 500	Weldox 700	Hardox 500
HV 10	HV 10	HV 10
241	270	291
257	268	297
244	280	305
243	278	316
242	276	313
241	276	317
	287	319
	285	319
	284	315
	277	315
	273	306
		307

Tab. 5.6 Tloušťky povlaků jednotlivých vzorků.

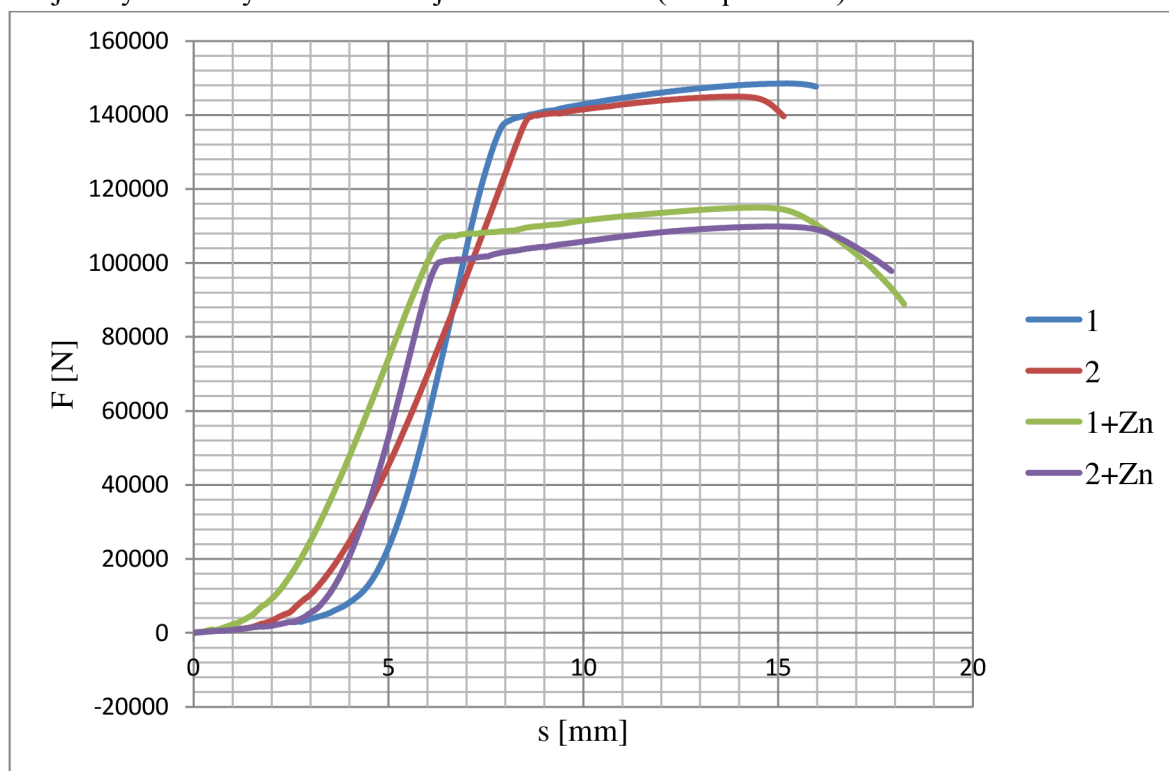
Weldox 500 [μm]	Weldox 700 [μm]	Hardox 500 [μm]
284	282	260
277	278	294
242	268	302
235	294	258
257	288	278
292	236	322
298	262	294
261	242	296
\varnothing 268	\varnothing 269	\varnothing 288

5.3.1 Hardox 500

Materiál vynikající dlouhodobou životností v podmínkách abraze. Jedná se o optimální řešení pro výrobu prvků, které budou aplikovány na velmi tvrdé horniny a minerály. Hardox 500 dosahuje tvrdosti 470 HB \div 530 HB a vrubové houževnatosti 30 KV/J při teplotě -40 °C. Bližší informace o složení a vlastnostech materiálu jsou uvedeny v příloze 1.^[14]

Žárovým zinkováním dochází ke zjemnění struktury na výše popuštěný martenzit (viz. příloha 5).

Tahovou zkouškou (obr. 5.10) bylo zjištěno zvýšení tažnosti. To je zapříčiněno popouštěním oceli při její výrobě. Zinkováním také dochází ke snížení meze kluzu a snížení meze pevnosti. V tabulce 5.7 jsou uvedeny hodnoty získané tahovou zkouškou na stroji - Hydraulický zkušební stroj ZD 40 /400kN/ (viz. příloha 4).



Obr. 5.10 Průběh tahové zkoušky oceli Hardox 500.

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky oceli Hardox 500.

Č. zk.	a [mm]	b [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	V_t [mm/min]	T [s]	V_{tl} [MPa/s]
1	6	26	156	148558	890.2	952.3	22.5	2.7181	72.8	13.3326
2	6	24.1	144.6	144974	970.5	1002.6	8.75	2.5345	76.4	13.3324
3	6	22.7	136.2	114980	787.5	844.2	6.25	4.1670	66.1	13.3306
4	6	21.41	128.4	109873	784.3	855.7	12.5	4.4417	65.9	13.3333



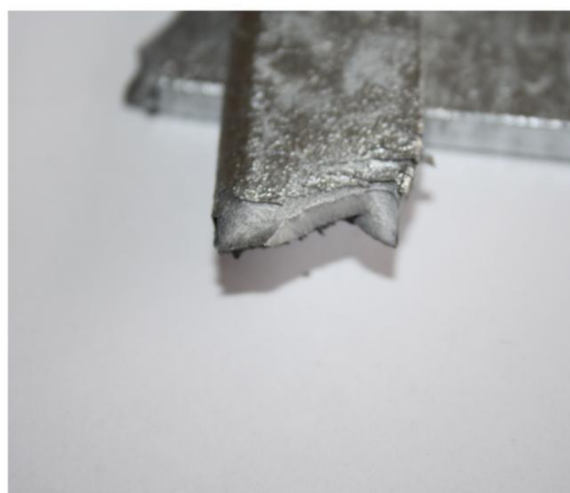
vzorek před zkouškou



makrosnímek oblasti lomu



vzorek po zkoušce



lomová oblast

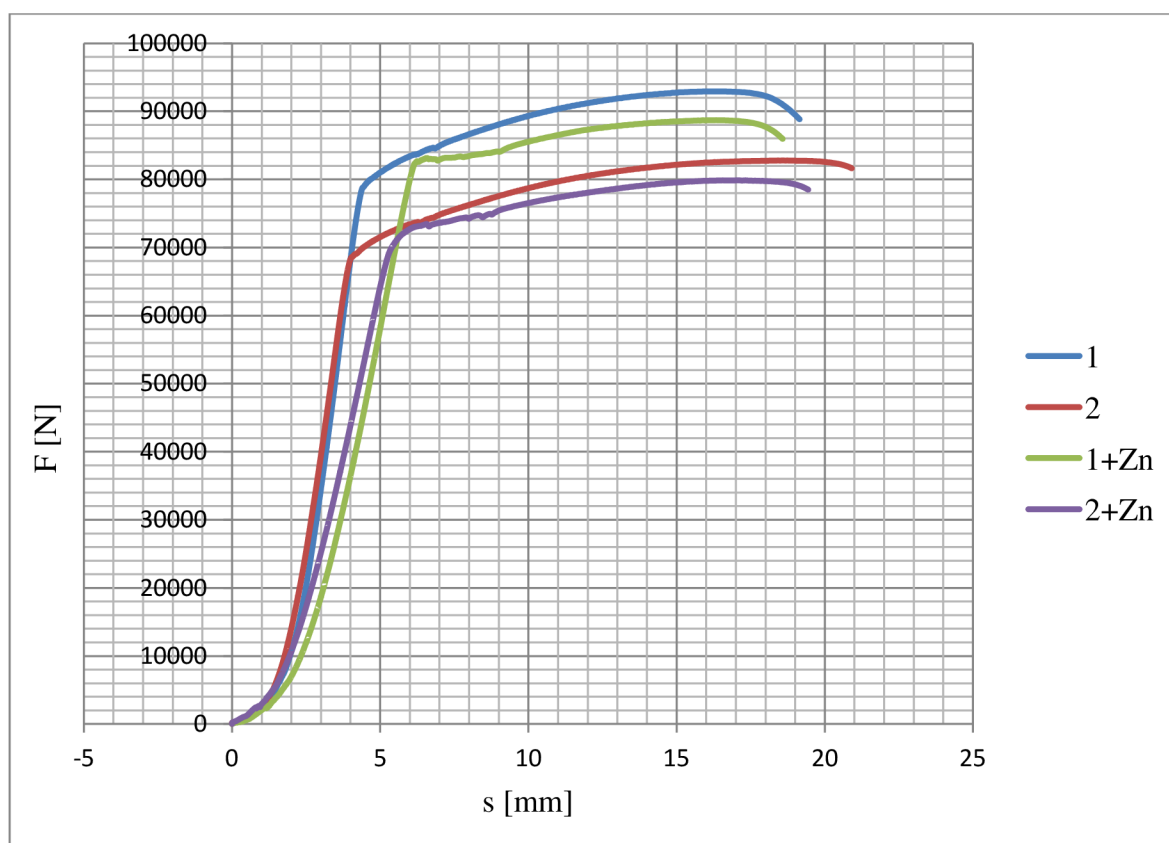
Obr. 5.11 Hardox 500.

5.3.2 Weldox 700

Weldox 700 jsou hlavní konstrukční oceli s minimální mezí pevnosti 700 N/mm^2 . Využívají se v případech, kde jejich vysoká pevnost umožňuje snížení hmotnosti vyráběných součástí. Tyto oceli si udržují dobrou houževnatost až do teploty $-60 \text{ }^\circ\text{C}$. Používají se například pro výrobu mobilních jeřábů, trubek, ocelových konstrukcí budov atd. Další informace o této oceli jsou uvedeny v příloze 2.^[14]

Při výrobě těchto ocelí se popouštěním za vysokých teplot (kolem $600 \text{ }^\circ\text{C}$) mění původně bainitická struktura na feritickou. V příloze 6 je zobrazena mikrostruktura materiálu před zinkováním a po zinkování. Dále zde je znázorněn mikro pohled na zinkovou vrstvu, kde je dobře vidět její složení, tedy čistý zinek a intermetalické fáze.

Ze získaných hodnot z tahové zkoušky (obr. 5.12) je patrné, že mez kluzu se zinkováním nepatrně zvyšuje a mez pevnosti zůstává přibližně stejná. Podobně se ani tažnost nějak významně nemění. Další výsledky tahové zkoušky (obr. 5.13) jsou uvedeny v tabulce 5.8.



Obr. 5.12 Průběh tahové zkoušky oceli Weldox 700.

Tab. 5.8 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky oceli Weldox 700.

Č. zk.	a [mm]	b [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	V_t [mm/min]	T [s]	V_{tl} [MPa/s]
1	5	21	117,5	92943,6	683,6	791,0	12,5	2,7961	61,5	13,3322
2	5	21,4	105	82795,2	653,9	773,8	15	2,8164	60,2	13,3313
3	5	23,3	111,5	88683,2	745,2	795,5	15	4,1531	61,3	13,3313
4	5	23,5	107	79851,6	688,3	760,5	15	4,3040	59,4	13,3365



a) před zkouškou



b) po zkoušce



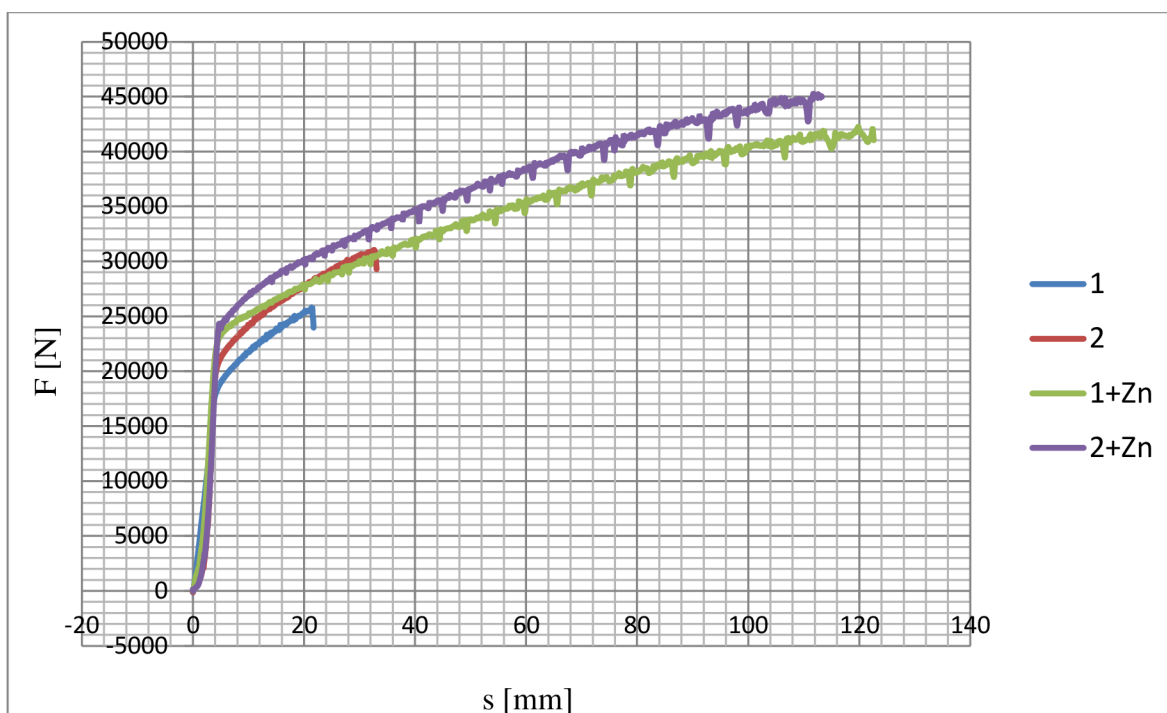
makrosnímek oblasti lomu

Obr. 5.13 Weldox 700.

5.3.3 Weldox 500

Jedná se o legované plechy s mezí pevnosti dosahující hodnoty 500 N/mm^2 . Ocelí Weldox 500 se využívá při výrobě ocelových konstrukcí budov, turbín, trubek, jeřábů atd. Více informací ohledně chemického složení a dalších vlastností viz. příloha 3. ^[14]

Z výsledků tahové zkoušky (obr. 5.14) vyplývá, že se po zinkování zvýší hodnota meze kluzu a meze pevnosti. Také tažnost se zinkováním značně zvýší. To je zapříčiněno vznikem sítě příčných trhlin (obr. 5.15). Další informace z tahové zkoušky (obr. 5.16) jsou uvedeny v tabulce 5.9.



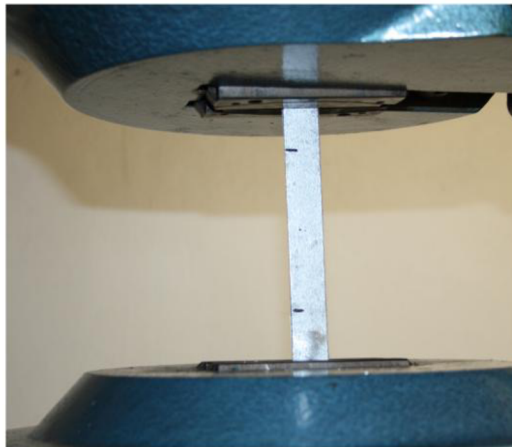
Obr. 5.14 Průběh tahové zkoušky oceli Weldox 500.

Tab. 5.9 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky oceli Weldox 500.

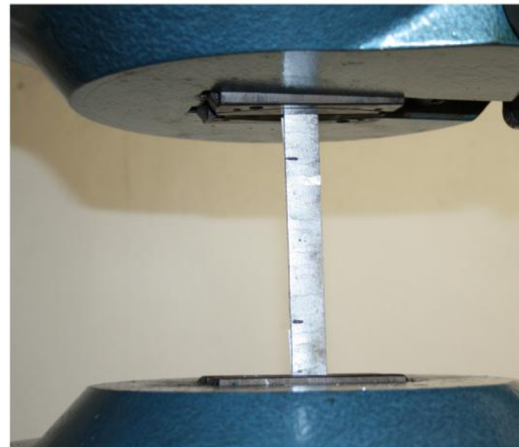
Č. zk.	a [mm]	b [mm]	S_0 [mm ²]	F_m [N]	$R_{P0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	V_t [mm/min]	T [s]	V_{t1} [MPa/s]
1	2,2	19	41,8	25817,6	434,7	617,6	10	5,7062	47,2	13,0371
2	2,2	20,5	45,1	31047,2	455,3	688,4	13,5	3,1014	51,6	13,2532
3	2,2	21,5	47,5	42277,2	475,8	893,8	75	4,2122	76,4	13,3043
4	2,2	23,4	51,5	45268,0	504,7	957,0	75	4,4645	73,2	14,4334



Obr. 5.15 Vzniklé trhliny po tahové zkoušce oceli Weldox 500.



a) před zkouškou



b) začínající praskání povlaku



c) pokračující praskání povlaku



d) utržení

Obr. 5.16 Weldox 500.

5.3.4 Důsledky žárového zinkování

Pozinkovaný materiál mnohem lépe odolává koroznímu napadání a tím pádem podstatně prodlužuje životnost takto upravených součástí. Zejména u konstrukcí, u kterých se čeká delší životnost je tento typ úpravy povrchu ekonomicky výhodný oproti ostatním způsobům.

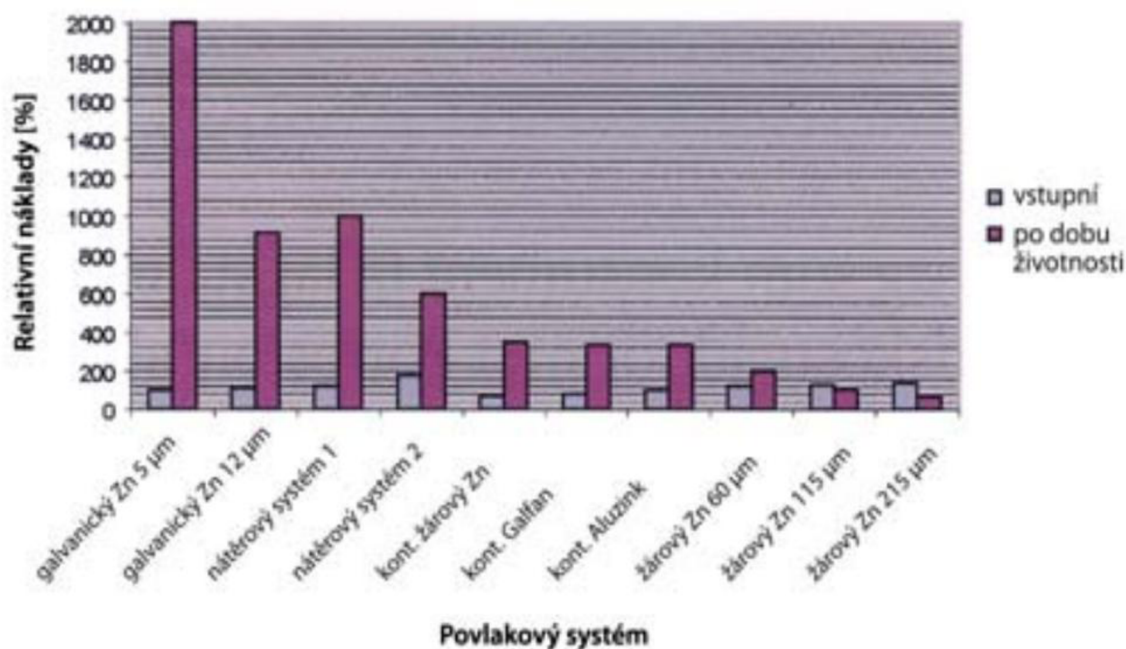
Ze získaných hodnot vyplývá, že zinkováním se mění mechanické vlastnosti materiálu. Tyto změny jsou závislé na druhu materiálu, respektive na jeho složení. U martenzitické oceli Hardox dochází zinkováním ke snížení tvrdosti, meze kluzu a meze pevnosti při nárůstu houževnatosti. U plechů Weldox dochází k nepatrnému snížení tvrdosti (weldox 700) nebo k jejímu zvětšení (weldox 500). U oceli Weldox 500 dochází rovněž k významnému nárůstu houževnatosti.

6 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ RŮZNÝCH TYPŮ POVLAKŮ

Výběr protikorozní ochrany vychází většinou pouze z pořizovací ceny systému. Ta však říká jen málo o celkových úsporách, které vzniknou při použití různých systémů protikorozních ochranných (obr. 6.1). Např. náklady na údržbu mohou být u jednoho systému podstatně vyšší, než u ostatních.

Cena žárového zinkování vychází z hmotnosti zboží, zatímco ceny nátěrů se stanovují na základě velikosti povrchu.

Při porovnání celkových nákladů různých systémů po dobu jejich životnosti dochází k řadě komplikací. Liší se intervaly mezi jednotlivými opravami. Dlouhá životnost zinkového povlaku, spolu se sníženým rizikem drobných poškození vedoucích k podstatnému snížení korozní odolnosti způsobuje, že žárové zinkování je z dlouhodobého hlediska skoro vždy levnější, než ostatní typy povrchových úprav.^[12]



Obr. 6.1 Porovnání vstupních nákladů a nákladů po dobu životnosti pro různé typy protikorozní ochrany [12].

Vynaložené náklady byly zkoumány při povrchové úpravě střídačky na fotbalovém hřišti (obr. 6.2). Uvažovaly se dvě varianty provedení protikorozní ochrany a sice ochrana žárovým zinkováním a ochrana nátěrovým systémem. Konstrukce střídačky je tvořena obdélníkovými trubkami o rozměrech 5 mm . 2 mm . 3,5 mm (š . v . t) .

Cena zinkování se udává v Kč/kg konstrukce. Hmotnost konstrukce je dána vztahem:

$$m = \rho \cdot V = 7800 \cdot 0,0119 = 92,82 \text{ kg} \quad (6.1)$$

$$V = S_C \cdot t = 3,4 \cdot 0,0035 = 0,119 \text{ m}^3 \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} S_C &= 4 \cdot S_1 + 3 \cdot S_2 + 4 \cdot S_3 + 4 \cdot S_4 = \\ &= 4 \cdot 0,242 + 3 \cdot 0,56 + 4 \cdot 0,154 + 4 \cdot 0,035 = 3,4 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (6.3)$$

$$S_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,1}{4} \cdot 0,14 = 0,242 \text{ m}^2 \quad (6.4)$$

$$S_2 = 4 \cdot 0,14 = 0,56 \text{ m}^2 \quad (6.5)$$

$$S_3 = 1,1 \cdot 0,14 = 0,154 \text{ m}^2 \quad (6.6)$$

$$S_4 = 0,25 \cdot 0,14 = 0,035 \text{ m}^2 \quad (6.7)$$

Při ceně zinkování 16 Kč/kg (cena zinkování ve firmě Signum Hustopeče^[17]) vychází náklady na zinkování 1485 Kč. K zinkování je ještě nutno připočíst cenu přepravy do zinkovny a zpět, která je 1754 Kč (dle platného ceníku společnosti PPL^[18]). Celkové náklady tedy dosahují:

$$N_C = 1485 + 1754 = 3239 \text{ Kč} \quad (6.8)$$

Při určování ceny nátěru se vychází z velikosti povrchu konstrukce v m^2 , která je v tomto případě $3,4 \text{ m}^2$ (viz S_C).

Uvažuje se použití jedné vrstvy základního a dvou vrstev krycího nátěru. Jako základní nátěr se použije Primalex základní barva antikorozi. Vydatnost této barvy je $8 \text{ m}^2 / \text{l}$. Cena balení o objemu $0,75 \text{ l}$ je 139 Kč ^[20]. Jako krycí nátěr se použije Primalex vrchní barva matná. Jeho vydatnost je $10 \text{ m}^2 / \text{l}$. Cena plechovky o objemu 5 l je 949 Kč ^[21]. Náklady na nátěr jedné střídačky jsou 1088 Kč .

Porovnání nákladů obou způsobů ochrany je uvedeno v tabulce 6.1.

Tab. 6.1 Porovnání nákladů na žárové zinkování a nátěrový systém.

Náklady	Nátěr	Žárový zinek
Konstrukce	9000 Kč	9000 Kč
Ochrana	1088 Kč	1485 Kč
Doprava	0 Kč	1754 Kč
Celkem	10088 Kč	12239 Kč

Vstupní náklady jsou nižší při použití nátěru, ten je ale nutné opravovat přibližně každých 5 let. Při životnosti konstrukce 30 let tedy dosáhnou celkové náklady na nátěr 15528 Kč ($10088 \text{ Kč} + 4 \cdot 1088 \text{ Kč}$). Výhodnější je tedy investovat do pozinkované konstrukce, jejíž životnost se udává až 60 let a nevyžaduje žádné další náklady v podobě oprav apod.



Délka konstrukce je 4 m.

Výška a šířka konstrukce je 1,1 m.

Obr. 6.2 Konstrukce střídačky.

7 ZÁVĚR

Do skupiny vysokopevnostních ocelí patří materiály, u kterých dosahuje mez kluzu hodnoty alespoň 1500 MPa. Tyto oceli se dělí do několika skupin a sice na oceli klasicky zušlechťené, termomechanicky zpracované, maraging a TRIP.

Koroze se dělí na chemickou a elektrochemickou. Protikorozi ochranu materiálu lze provést úpravou prostředí, elektrochemickou úpravou kovu, použitím vhodného konstrukčního materiálu nebo tvorbou ochranných povlaků.

U ocelí typu Hardox 500 se žárovým zinkováním mění struktura a tedy i mechanické vlastnosti materiálu. Snižuje se hodnota meze kluzu i meze pevnosti. Oproti tomu se zvyšuje tažnost.

U ocelí Weldox 700 se po nanesení zinkového povlaku mírně zvyšuje mez kluzu. Mez pevnosti zůstává přibližně stejná jako před zinkováním. Obdobně i tažnost dosahuje přibližně stejných hodnot před úpravou i po úpravě.

U ocelí Weldox 500 zinkováním dochází ke zvyšování hodnot meze kluzu a meze pevnosti. Nejvýznamnější rozdíl je ve změně tažnosti, která se úpravou podstatně zvýší. Příčinou je vznik sítě mikrotrhlin, která rovněž zapříčiňuje znázorněný průběh síly v tahovém diagramu.

Při výběru optimální varianty ochrany je nutné nesrovnávat pouze pořizovací náklady, ale vzít v úvahu také životnost ochrany, náklady na údržbu a případné opravy. Pořizovací náklady na žárově zinkovanou konstrukci jsou vyšší, než u nátěru. Ten je ale nutno přibližně každých 5 let opravovat, což u zinkového povlaku není nutné. Náklady po dobu životnosti konstrukce jsou tedy výrazně nižší při použití žárového zinkování.

ZDROJE:

- [1] Vysokopevné a vysokolegované oceli, superslitiny: Vysokopevné oceli. *CVUT* [online]. 2012 [vid. 2013-04-12].
Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/01_pm_vyskopevne_a_vysokolegovane_oceli_a_slitiny_ni_a_co.pdf
- [2] KRAUS, Václav. Povrchy a jejich úpravy. *Katedra materiálu a strojírenské metalurgie* [online]. Plzeň, 2006 [vid. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [3] Předúprava ocelových povrchů. In: *Chedo* [online]. 1999 [vid. 2013-03-05].
Dostupné z: <http://www.chedo.cz/kat/Preduprava--ocelovych---povrchu-440/>
- [4] *Technologie povrchových úprav kovů*. MOHYLA, Miroslav. I. vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 2006. 156 s. ISBN 80-7078-267-6.
- [5] Document.php?param=novinky_foto,89. In: *Feanalyses* [online]. 2000 [vid. 2013-04-07]. Dostupné z: http://www.feanalyses.cz/document.php?param=novinky_foto,89
- [6] Thomas a Wallina TORGNY. *Protikorozní ochrana žárovým zinkováním*. NORDISK FÖRZINKNINGSFÖRENING. Praha: Asociace českých zinkoven, 1998.
- [7] HAVRÁNKOVÁ, Zdena. Žárové zinkovní ponorem: Základní informace pro uživatele. In: *Konstrukce.cz* [online]. 2005, 20.12.2008 [vid. 2013-04-01].
Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/zarove-zinkovani-ponorem-zakladni-informace-pro-uzivatele/>
- [8] *WIEGEL Žárové zinkování* [CD]. Láska která nerezaví. ©2004. [12.3.2013].
- [9] Abrollcont ainer aus Hardox. In: *Meindl Umwelttechnologie Industriesysteme* [online]. Linz, 2005 [vid. 2013-04-07]. Dostupné z: http://meindl.co.at/html/mepac_hardoxcontainer.html
- [10] *Hardox univerzální otěruvzdorný plech*. SSAB Oxelösund, 2001. Helin information Österbergs & Sörmlandstryck 10/2001.
- [11] *Weldox*. SSAB Oxelösund, 2004. Helin information Sörmlandstryck 9611.
- [12] Příručka žárového zinkování. In: *Zinkoza.sk* [online]. 2005 [vid. 2013-05-04].
Dostupné z: http://www.zinkoza.sk/prirucka_ziaroveho_zinkovania.pdf

- [13] Postup a parametry žárového zinkování. In: *Www.mea.cz* [online]. Plzeň, 2010 [vid. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://rosty.mea.cz/component.php?cocode=section&seid=56>
- [14] *Gamaocel s.r.o.* [online]. 2002 [vid. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.gamaocel.cz>
- [15] Oceli Hardox, Weldox a jejich svařování. In: *Svarinfo.cz* [online]. 2008, 12.08.2008 [vid. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008061801>
- [16] Duplexní povlaky ocelových konstrukcí. In: *Konstrukce.cz* [online]. 2012, 12.3.2012 [vid. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci/>
- [17] *Signumcz* [online]. 2008 [vid. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.signumcz.com/>
- [18] Podmínky pro přepravu nadrozměrných zásilek. In: *PPL* [online]. 1999, 1.5.2013 [vid. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.ppl.cz/main.aspx?cls=art&tre_id=203&art_id=84
- [19] Zkouška tvrdosti dle Vickerse. In: *Converter* [online]. 2002 [vid. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>
- [20] Primalex základní antikorozi 0,75L. In: *Ebarvylaky.cz* [online]. 2010 [vid. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.ebarvylaky.cz/primalex-zakladni-barva-antikorozni/5738-primalex-zakladni-barva-antikorozni-075-1.html>
- [21] Primalex vrchní barva matná 5L. In: *Ebarvylaky.cz* [online]. 2010 [vid. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.ebarvylaky.cz/primalex-vrchni-barva-matna/5751-primalex-vrchni-barva-matna-5-1.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
A	[-]	Anoda
HV	[-]	Tvrдость dle Vickerse
IRA	[-]	Izotermický rozpad austenitu
K	[-]	Katoda
KZ	[-]	Klasicky zušlechtilé
NTMZ	[-]	Nízko termomechanicky zpracované materiály
TMZ	[-]	Tepelně mechanické zpracování
TRIP	[-]	Transformace indukovaná plasticitou
VTMZ	[-]	Vysoko termomechanicky zpracované materiály
Symbol	Jednotka	Popis
A ₅	[%]	Tažnost
A _{c1}	[°C]	Teplota fázové přeměny
K _{IC}	[MPa*m ^{1/2}]	Základní statická lomová houževnatost vyjádřená pomocí faktoru intenzity napětí
K _p	[-]	Faktor závislý na prostředí
L _F	[roky]	Odhadovaná životnost nátěru
L _T	[roky]	Životnost duplexního systému
L _{Zn}	[roky]	Odhadovaná životnost povlaku
N _C	[Kč]	Celkové náklady
R _m	[MPa]	Mez pevnosti
R _{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
T	[°C]	Teplota
S ₁ ÷ S ₄	[m ²]	Plochy částí konstrukce střídačky

S_C	$[m^2]$	Celková plocha
V_o	$[kg \cdot mol^{-1}]$	Objem oxidu korozního produktu
V_{Me}	$[kg \cdot mol^{-1}]$	Molární objem
r_{PB}	$[-]$	Pilling - Bedwordovo číslo
t	$[mm]$	Tloušťka
t_t	$[s]$	Čas
ρ	$[Kg \cdot m^{-3}]$	Hustota

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list oceli Hardox 500
Příloha 2	Materiálový list oceli Weldox 700
Příloha 3	Materiálový list oceli Weldox 500
Příloha 4	Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/
Příloha 5	Makrostruktura oceli Hardox 500
Příloha 6	Makrostruktura oceli Weldox 700
Příloha 7	Makrostruktura oceli Weldox 500

HARDOX[®] 500

ABRASION RESISTANT PLATE

HARDOX 500 is an abrasion resistant plate with a hardness of about 500 HB, intended for applications where demands are imposed on abrasion resistance.

APPLICATIONS	Crushers, sieves, feeders, measuring pockets, skips, journals, cutting edges, conveyors, buckets, knives, gears, sprockets, etc.											
CHEMICAL COMPOSITION (ladle analysis)	Plate thickness mm	C max %	Si max %	Mn max %	P max %	S max %	Cr max %	N max %	Mo max %	B max %	CEV typv.	CET typv.
	4 – 13	0,27	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	0,25	0,25	0,004	0,58	0,40
	(13)– 26	0,29	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	0,50	0,30	0,004	0,60	0,42
	(26)– 40	0,29	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	1,00	0,60	0,004	0,65	0,43
	(40)– 80	0,30	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	1,50	0,60	0,004	0,73	0,46
	$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$ $CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$											
	The steel is grain-refined.											
HARDNESS	HBW	4 – 26 mm 470 – 530 (26) – 80 mm 450 – 540										
IMPACT PROPERTIES Typical value for 20 mm plate thickness.	Testing temperature °C –40 (–40°F)	Impact energy Charpy-V, longitudinal J 30										
TESTING	Brinell hardness HBW according to EN ISO 6506-1, on a milled surface 0,5-2 mm below plate surface per heat and 40 t.											
FORM OF SUPPLY	Quenched. When necessary, hardness is adjusted by means of subsequent tempering.											
DIMENSIONS	HARDOX 500 is supplied in plate thicknesses of 4–80 mm. More detailed information on dimensions is provided in our brochure General Product Information E-5.											
TOLERANCES	According to EN 10 029. – Tolerances on thickness according to Class A. – Tolerances on flatness according to Class N. (Normal tolerances)											
SURFACE FINISH	According to EN 10 163-2. – Requirements according to Class A. – Repair conditions according to Subclass 1. Repair by welding is allowed.											
GENERAL TECHNICAL DELIVERY REQUIREMENT	According to our brochure E-5, General Product Information.											
HEAT TREATMENT	HARDOX 500 is not intended for further heat treatment.											

E-152, HARDOX 500 är en registrerad varumärksmodell för SSAB Oxelösund AB



SSAB Oxelösund AB
S-613 80 Oxelösund

Phone.
+46 155-25 40 00

Fax
+46 155-25 40 73

Telex
50950 SSAB S

www.oxelosund.ssab.se

DATA SHEET

HARDOX 500

FABRICATION

HARDOX 500 has obtained its mechanical properties by quenching. The properties of the delivery condition can not be retained after a preheating temperature above 250°C (480°F). HARDOX 500 is not suited for applications requiring hot working at temperatures above 250°C (480°F) since the material may then lose its good properties.

For information concerning welding and fabrication, see our brochures listed below or consult our Technical Customer Service.

Fabrication	Brochure No:
Machining	En-10
Welding	En-11
Cutting	En-14

Appropriate health and safety precautions must be taken when welding, cutting, grinding or otherwise working on the product. Grinding, especially of primer coated plates, may produce dust with high particle concentration. Our Technical Customer Service Department will provide further information on request.

Příloha 2

DATA SHEET 1996-06-01



WELDOX 700

EXTRA HIGH STRENGTH STRUCTURAL PLATE

WELDOX 700 is a general structural steel with a minimum yield strength of 700 N/mm² intended for applications where its high strength permits weight savings to be made. The plate has very good cold bending properties and very good weldability. WELDOX 700 can be obtained with guaranteed impact toughness at temperatures down to -60°C (-76°F). WELDOX 700 totally fulfils the requirements on the corresponding steel grades and qualities according to EN 10 137 part 1 and 2.

APPLICATIONS	Dumptrucks, mobile cranes, loaders, industrial trucks, lorries, trailers, bulldozers, excavators, forestry, buckets, cranes, railway waggons, dolphins, penstocks, pipes, bridges, steel buildings, offshore structures, fans, pumps, lifting equipment etc.															
DESIGNATION	WELDOX 700 D with impact testing at -20°C (-4 °F). Corresponds to S 690 Q WELDOX 700 E with impact testing at -40°C (-40 °F). Corresponds to S 690 QL WELDOX 700 F with impact testing at -60°C (-76 °F). Corresponds to S 690 QL1															
CHEMICAL COMPOSITION (ladle analysis)	C*	Si*	Mn*	P	S	B*	Nb*	Cr*	V*	Cu*	Ti*	Al* total	Mo*	Ni*	N	CEV typical value
	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	min	max	max	max	%
	0,20	0,60	1,60	0,020	0,010	0,005	0,04	0,70	0,09	0,30	0,04	0,015	0,70	2,0	0,015	¹⁾
	¹⁾ The steel is fine grained and microalloyed to a total of at least 0,040% with Al, V, Nb, Ti or equivalent elements															
	typ CEV, for information															
	¹⁾ WELDOX 700 D och E. t - 7 mm 0,56															
	7,1 - 20,0 0,41															
	20,1 - 45,0 0,46															
	45,1 - 102,0 0,56															
	102,1 - 130 0,64															
	WELDOX 700 F 5,1 - 80 0,56															
	$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$ ¹⁾ Intentional alloying elements.															
MECHANICAL PROPERTIES	Plate thickness mm		Yield strength R _{0,2} min N/mm ²				Tensile strength R _m N/mm ²				Elongation ¹⁾ A ₅ min A ₈₀ min ²⁾ % %					
	4-50		700				780-930				14 18					
	(50)-100		650				790-930				14 18					
	(100)-130		630				710-900				14 18					
	¹⁾ For transverse test pieces. Values for longitudinal test pieces are 2 units higher.															
	²⁾ Testing by agreement.															
IMPACT PROPERTIES	Minimum values of impact energy for tests on transverse ¹⁾ and Charpy V test pieces. Minimum values of impact energy in J at test temperatures ²⁾ in °C															
	Steel grade	0	-20	-40	-60											
	WELDOX 700 D	30	27	-	-											
	WELDOX 700 E	35	30	27	-											
	WELDOX 700 F	40	35	30	27											
	¹⁾ Unless otherwise agreed, transverse impact testing according to EN 10 137 option 3 will apply. If only longitudinal impact testing shall apply, it has to be specified in the order.															
	²⁾ If the test temperature is not specified, the test will be carried out at the lowest test temperature.															
TESTING	Testing in accordance with EN 10 137-1 and EN 10 137-2.															
DELIVERY CONDITION	Quenched and tempered, Q.															
DIMENSIONS	WELDOX 700 is supplied in plate thicknesses of 4-130 mm. More detailed information on dimensions is provided in our brochure E-40. Certain width restrictions may apply.															
TOLERANCES	According to EN 10 029. - Tolerances on thickness according to Class A. - Tolerances on flatness according to Class N. (Normal tolerances)															
SURFACE FINISH	According to EN 10 163-2. - Requirements according to Class A. - Repair conditions according to Subclass 1. Repair by welding is allowed, option 14 according to EN 10 137-2.															

GENERAL TECHNICAL DELIVERY REQUIREMENTS	<p>According to our brochure En-40, General Product Information. WELDOX 700 conforms to all technical requirements of S690 in EN 10 137-2. Option 3 and 14 are applied.</p>																				
HEAT TREATMENT AND FABRICATION	<p>WELDOX 700 has obtained its mechanical properties by a quenching and tempering process. The mechanical properties can not be retained after PWHT at temperatures above 580°C (1075°F). WELDOX 700 is not suited for applications requiring hot working at temperatures above 580°C (1075°F) since the material may then lose its good properties.</p> <p>For information concerning welding and fabrication, see our brochures listed below or consult our Technical Customer Service.</p> <table data-bbox="598 526 973 806"> <tr> <td data-bbox="598 526 845 548">Fabrication</td> <td data-bbox="845 526 973 548">Brochure No:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 548 845 571">Drilling</td> <td data-bbox="845 548 973 571"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 571 845 593">Countersinking</td> <td data-bbox="845 571 973 593"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 593 845 616">Tapping</td> <td data-bbox="845 593 973 616">En-10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 638 845 660">Flame Cutting</td> <td data-bbox="845 638 973 660"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 660 845 683">Welding</td> <td data-bbox="845 660 973 683">En-11</td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 705 845 728">Bending</td> <td data-bbox="845 705 973 728"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 728 845 750">Shearing</td> <td data-bbox="845 728 973 750">En-12</td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 772 845 795">Turning</td> <td data-bbox="845 772 973 795"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="598 795 845 817">Milling</td> <td data-bbox="845 795 973 817">En-13</td> </tr> </table> <p>Appropriate health and safety precautions must be taken when welding, cutting, grinding or otherwise working on the product. Grinding, especially of primer coated plates, may produce dust with high particle concentration. Our Technical Customer Service Department will provide further information on request.</p>	Fabrication	Brochure No:	Drilling		Countersinking		Tapping	En-10	Flame Cutting		Welding	En-11	Bending		Shearing	En-12	Turning		Milling	En-13
Fabrication	Brochure No:																				
Drilling																					
Countersinking																					
Tapping	En-10																				
Flame Cutting																					
Welding	En-11																				
Bending																					
Shearing	En-12																				
Turning																					
Milling	En-13																				

Příloha 3

DATA SHEET 1993-04-15



WELDOX 500

EXTRA HIGH STRENGTH STRUCTURAL PLATE

WELDOX 500 is a micro alloyed structural plate with min yield strength 500 N/mm².

APPLICATIONS	Storage tanks, silos, steel buildings, turbines, cranes, lifting equipment, dolphins, penstocks, pipes, water towers, offshore structures etc.											
DESIGNATION	WELDOX 500 D with guaranteed impact properties at -20°C (-4°F) WELDOX 500 E with guaranteed impact properties at -40°C (-40°F)											
CHEMICAL COMPOSITION (ladle analysis)	C ¹⁾	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Al tot	N	CE	Pcm
	max %	max %	max %	max %	max %	max %	max %	max %	max min	max %	typical value %	typical value %
	0,17	0,55	1,70	0,020	0,020	0,050	0,12	0,020	0,015	0,015	¹⁾	¹⁾
	¹⁾ For plate thicknesses					CE	Pcm					
	- 50 mm					0,39	0,21					
	> 50 mm					0,42	0,25					
	$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$ $Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$											
MECHANICAL PROPERTIES	Plate thickness mm	Yield strength R _{0,2} min N/mm ²			Tensile strength R _m N/mm ²			Elongation ¹⁾ A ₅ min %				
	8-16	500			570-720			16				
	(16)-40	480			570-720			16				
	(40)-80	460			550-720			16				
	¹⁾ For transverse specimen. Values for longitudinal specimen are 2 units higher.											
IMPACT PROPERTIES	Grade	Test temperature °C			Impact energy ¹⁾ Charpy V longitudinal min, J 10x10 specimen ²⁾							
	WELDOX 500 D	-20 (-4°F)			40							
	WELDOX 500 E	-40 (-40°F)			40							
	¹⁾ Average of three tests. Single value min 70% of specified average.											
	²⁾ For plate thicknesses under 12 subsize Charpy V-specimens are used. The specified minimum value is then proportional to the specimen cross-section.											
SUPPLY CONDITION	Thermomechanically rolled alternatively quenched and tempered at our own option.											
DIMENSIONS	WELDOX 500 is supplied in plate thicknesses of 8-80 mm. More detailed information on dimensions is provided in our brochure E-40 General Product Information.											
TESTING	Tensile testing according to SS 11 01 20 and SS-EN 10 002 -1, per as-rolled plate. Impact testing according to SS 11 01 51 and SS-EN 10 045 -1, per as-rolled plate.											
GENERAL TECHNICAL DELIVERY REQUIREMENTS	According to our brochure E-40, General product information.											
WELDING	<p>WELDOX 500 possesses very good weldability due to its lean chemical composition especially its low carbon content. WELDOX 500 can be welded by conventional welding methods as manual metal arc, gas metal arc and submerged arc welding. WELDOX 500 can be welded to other weldable structural steels.</p> <p>We recommend filler material with low hydrogen potential, max 10 ml/100 g weld deposit according to the Hg-method ISO 3690. Only basic electrodes are to be used for manual metal arc welding.</p> <p>WELDOX 500 can normally be welded without preheating for a combined plate thicknesses up to 100 mm if the hydrogen potential is max 10 ml/100 g weld deposit. This corresponds to 50 mm plate thickness for a butt weld. These plate thicknesses are valid for a heat input up to 1.7 kJ/mm.</p> <p>Under difficult restraint conditions, damp environment or for combined thicknesses above 100 mm welding should be carried out with a preheat temperature of 75-125°C (170-260°F). This temperature shall be maintained throughout the welding operation.</p> <p>For further information please refer to our Welding brochure E-11 or contact our Technical Customer Service.</p>											

STRESS RELIEVING	If stress relieving is required, please contact our Technical Customer Service for temperature and time recommendations.										
FABRICATION	<p>In normal workshop conditions, following data apply for a 90° bending angle.</p> <table border="0" data-bbox="603 389 1458 539"> <thead> <tr> <th data-bbox="603 389 938 421">Bending direction</th> <th data-bbox="938 389 1161 456">Recommended minimum inside bending radius</th> <th data-bbox="1161 389 1458 456">Recommended minimum die opening</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="603 456 938 488">Perpendicular to rolling direction</td> <td data-bbox="938 456 1161 488">1,0 ∞ t</td> <td data-bbox="1161 456 1458 488">6,0 ∞ t</td> </tr> <tr> <td data-bbox="603 488 938 519">Parallel to rolling direction</td> <td data-bbox="938 488 1161 519">1,5 ∞ t</td> <td data-bbox="1161 488 1458 519">7,5 ∞ t</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="938 519 1458 539">t = plate thickness</p> <p data-bbox="603 555 1458 586">WELDOX 500 can be gas cut and machined with cutting tools.</p> <p data-bbox="603 586 1458 618">For further information please contact our Technical Customer Service.</p>		Bending direction	Recommended minimum inside bending radius	Recommended minimum die opening	Perpendicular to rolling direction	1,0 ∞ t	6,0 ∞ t	Parallel to rolling direction	1,5 ∞ t	7,5 ∞ t
Bending direction	Recommended minimum inside bending radius	Recommended minimum die opening									
Perpendicular to rolling direction	1,0 ∞ t	6,0 ∞ t									
Parallel to rolling direction	1,5 ∞ t	7,5 ∞ t									

Příloha 4

Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálu do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčniku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropské výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

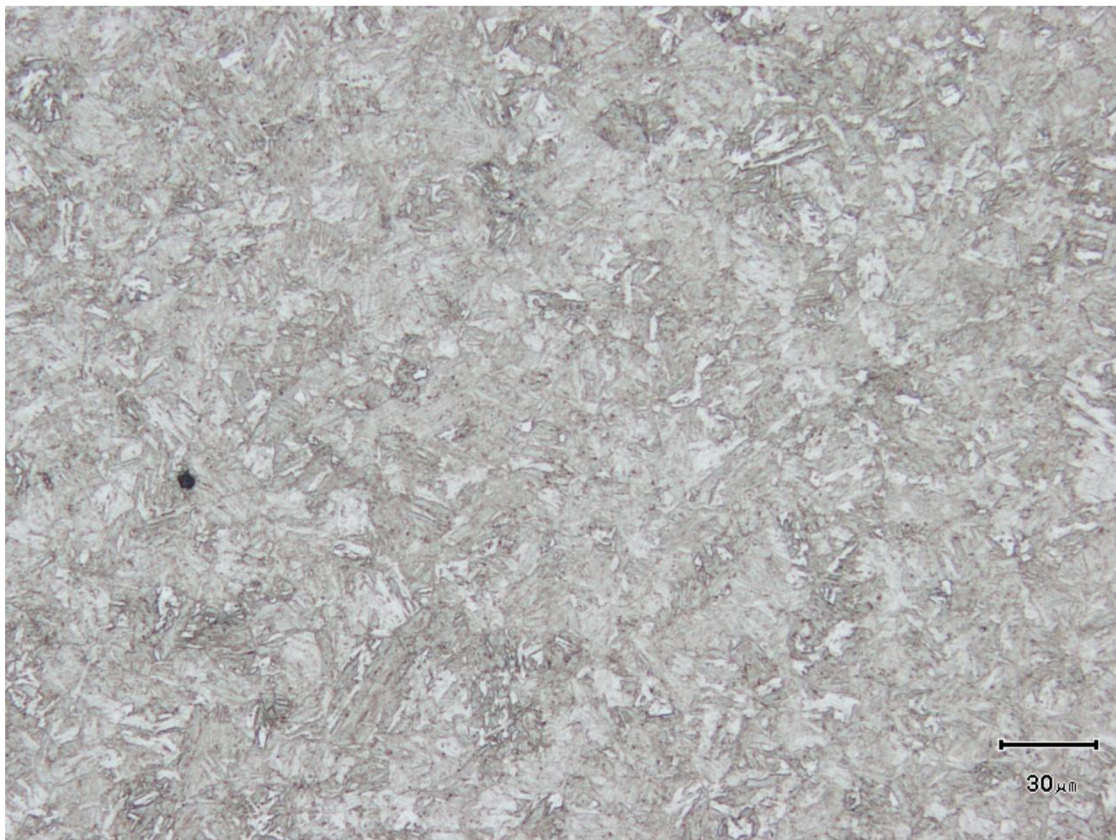
- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiál dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60

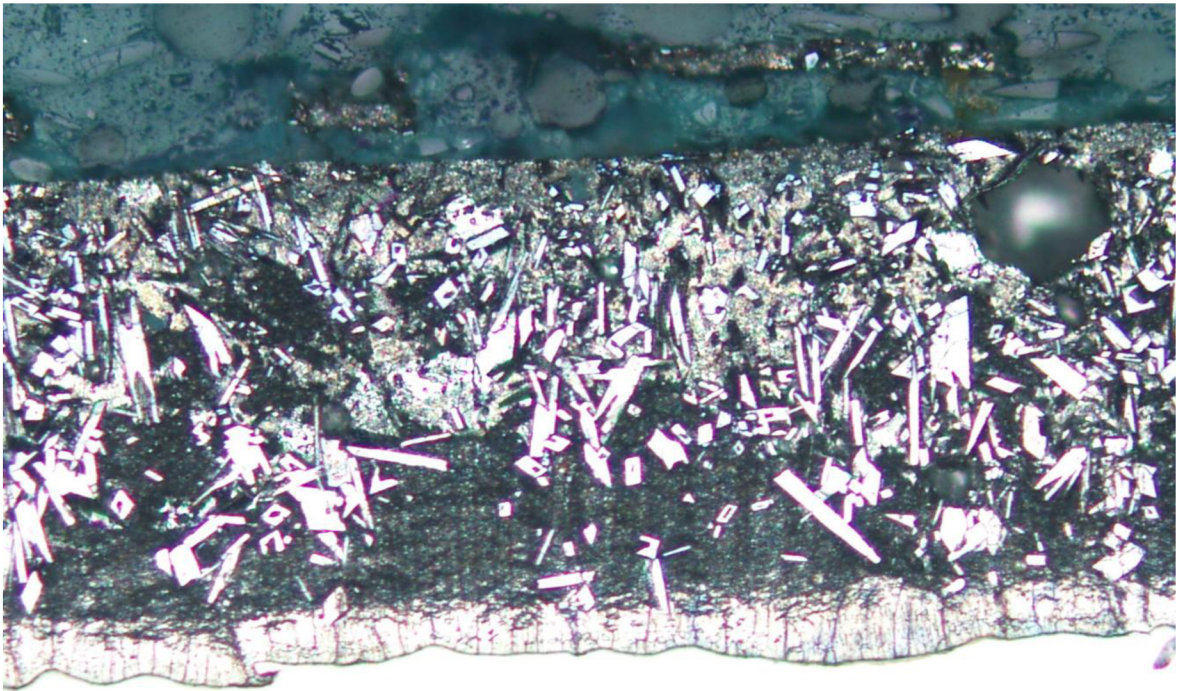
Příloha 5



Martenzitická struktura s větší velikostí zrn.



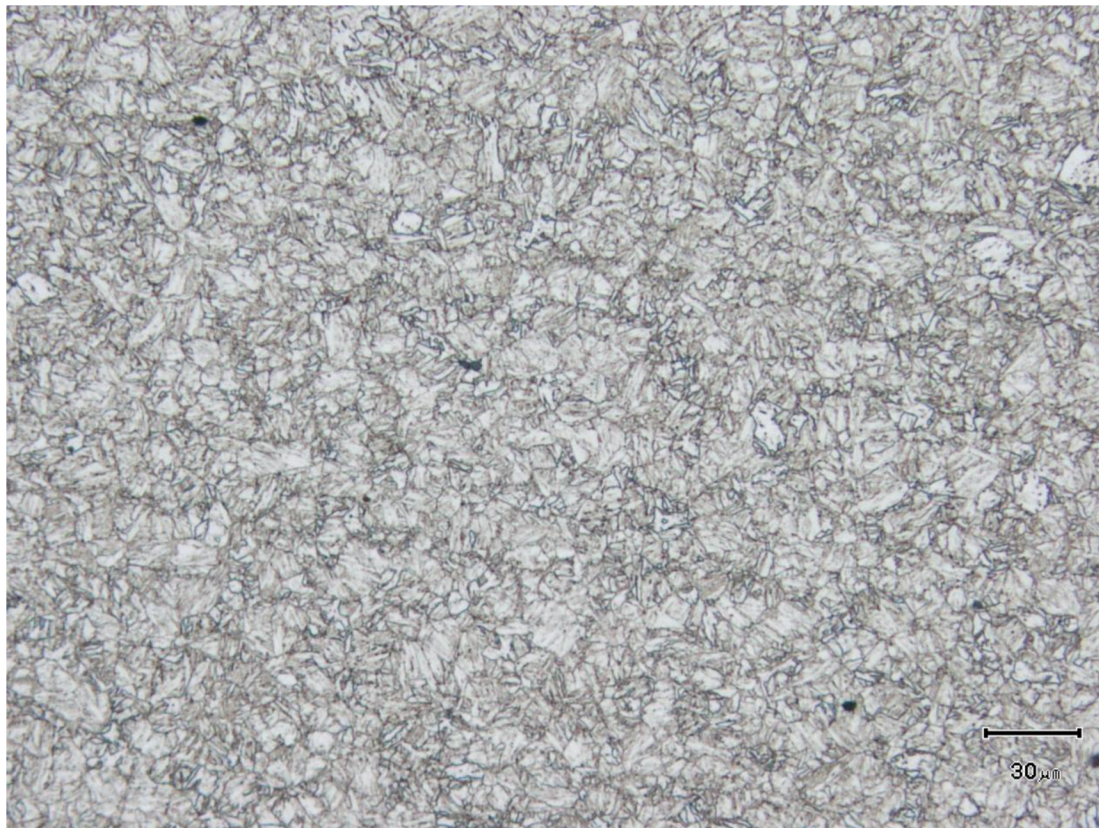
Zjemněná martenzitická struktura.



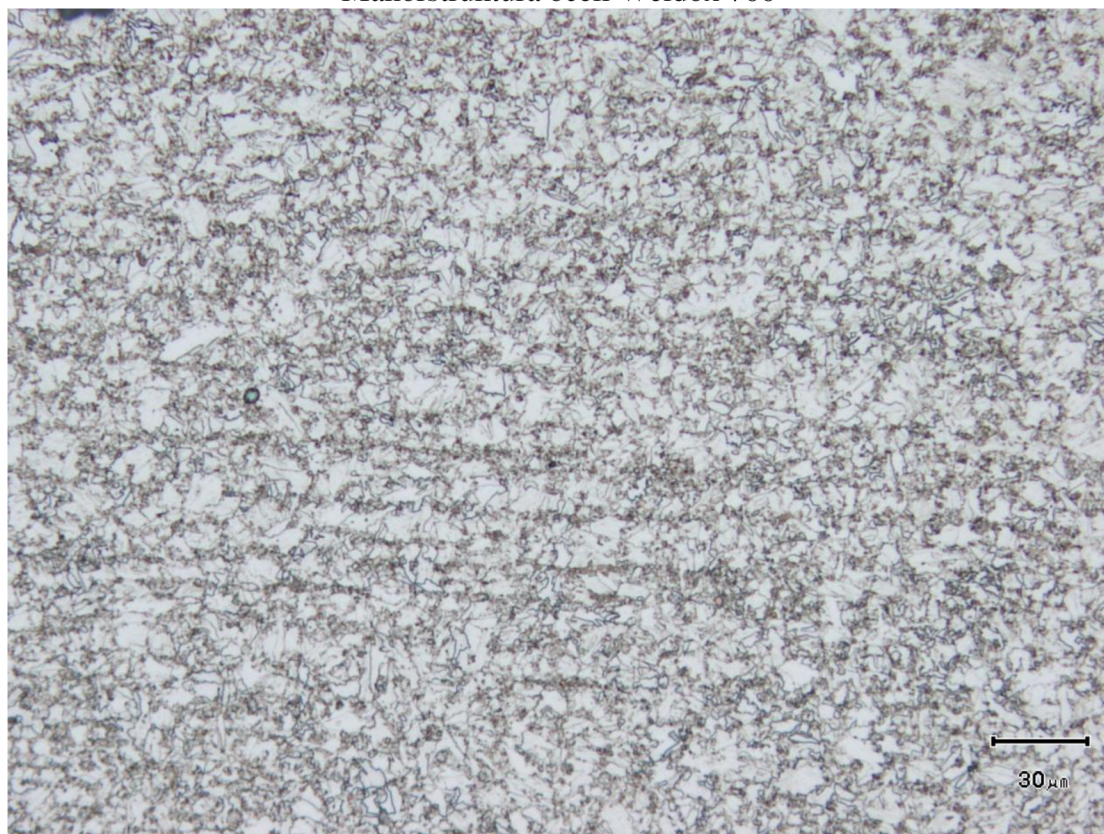
30 μm

Makrostruktura zinkového povlaku

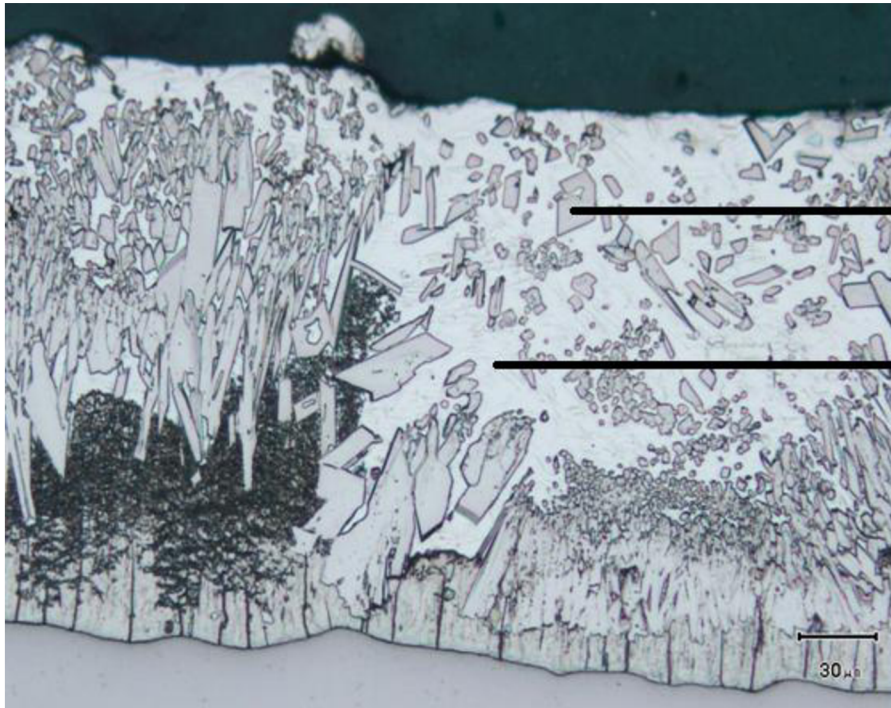
Příloha 6



Makrostruktura oceli Weldox 700



Makrostruktura pozinkované oceli Weldox 700



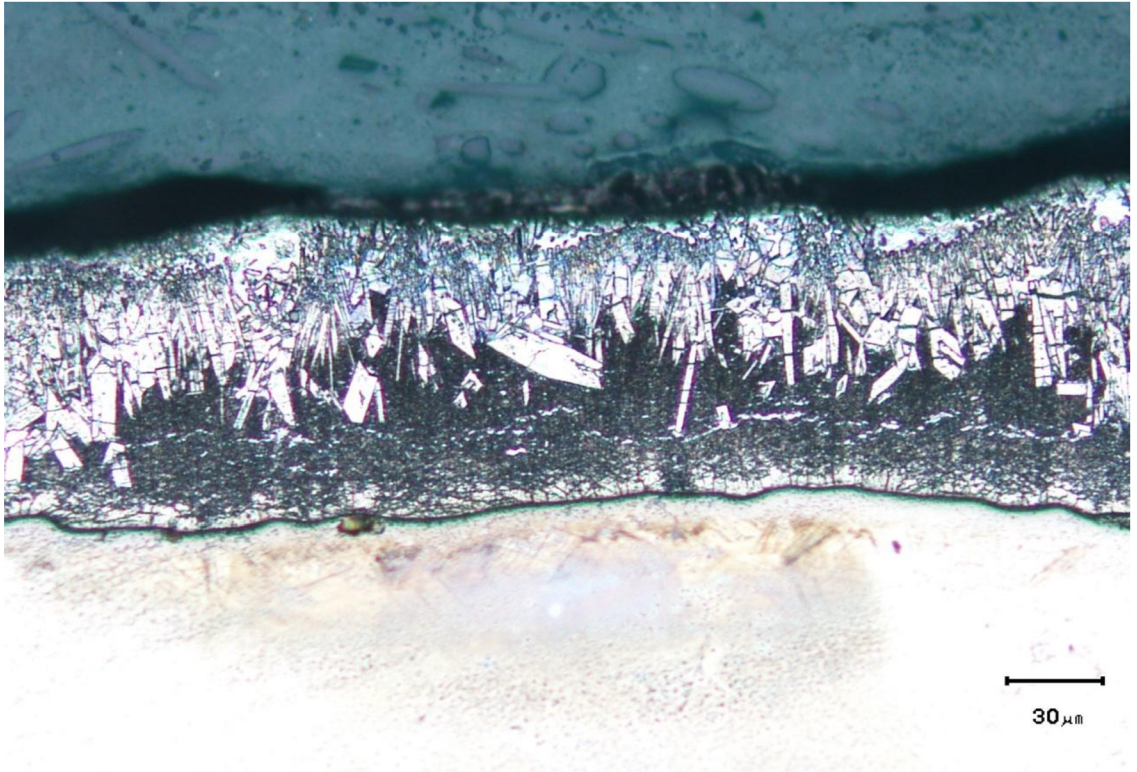
Intermetalická fáze

Čistý zinek

30 μm

Zinkový povlak oceli Weldox 700

Příloha 7



Zinkový povlak oceli Weldox 500