



NG

HANDBOK

I VARMFÖRZINKNING

Förord

Stål är vår tids mest använda konstruktionsmaterial. Stålet har många fördelar, men tyvärr också en stor nackdel, att det korroderar. För att få en lång, underhållsfri livslängd hos konstruktionen är ett pålitligt korrosionsskydd av största vikt, och det är här varmförzinkningen kommer in i bilden. Genom att doppa konstruktionen i smält zink fås ett både utvändigt och invändigt korrosionsskydd med mycket god beständighet. Varmförzinkning används för ett brett spektra av produkter, från små fästelement till stora balkar, brosegment, takstolar, lyktstolpar, vägräcken och fasadelement. Möjligheterna är oändliga. Där stål används har ofta varmförzinkningen en viktig, kompletterande roll.

Denna handbok ges ut av Nordic Galvanizers, branschorganisationen för varmförzinkningsföretag i Norden. På vår hemsida, www.nordicgalvanizers.com finns ytterligare information och där presenteras kontinuerligt nyheter inom branschen.

Nordic Galvanizers driver ett informationskontor i Stockholm dit våra medlemmars kunder är välkomna att vända sig för frågor och konsultation rörande stålval, konstruktionsutformning, standarder, korrosivitetsklasser, miljöfrågor och annat som rör varmförzinkning av stål. Nordic Galvanizers ordnar bland annat konferenser för medlemsföretagen där teknikutveckling och produktionsförbättringar presenteras samt deltar i internationellt samarbete genom den europeiska varmförzinkningsorganisationen European General Galvanizers Association, EGGA. Genom att välja en varmförzinkare som är medlem i Nordic Galvanizers säkerställer du som användare att din produkt är varmförzinkad med kvalité och miljömedvetenhet i fokus. Du kan även snabbt få hjälp och svar på frågor som rör produkten, antingen ifrån din varmförzinkare eller ifrån Nordic Galvanizers informationskontor.

Denna handbok utgavs första gången 1968 med titeln "Varmförzinkning som korrosionsskydd". Den togs emot med stort intresse och har sedan dess omarbetats åtta gånger och utkommit på sju olika språk.

Denna åttonde upplaga har tagit hänsyn till de senaste årens tekniska utveckling samt nyheter gällande miljöfrågor. Handboken bygger som tidigare på forskningsresultat, erfarenheter och upplysningar från folk i branschen. Det är vår förhoppning att boken, liksom tidigare utgåvor, skall vara till nytta och glädje för alla de som är praktiskt engagerade i problemet med att skydda stål från korrosion.

Stockholm i mars 2019

Annikki Hirn

Innehåll

1. Något om korrosion och korrosionsskydd
2. Val av korrosionsskydd
3. Förzinkningsmetoder 3.1 Varmförzinkning 3.2 Elförzinkning, elektrolytisk förzinkning 3.3 Sprutförzinkning, termisk sprutning 3.4 Sherardisering 3.5 Mekanisk förzinkning 3.6 Målning med zinkrik färg
4. Varmförzinkning 4.1 Fördelar respektive begränsningar 4.2 Utförande 4.2.1 Varmförzinkning av smådetaljer 4.2.2 Tråd- och rörförzinkning 4.2.3 Plåtförzinkning
5. Reaktioner mellan järn och zink 5.1 Skiktets uppbyggnad 5.2 Aluminiumtätade stål 5.3 "Sandelinstål" 5.4 Kiseltätade stål 5.5 Inverkan av legeringselement hos stålet 5.6 Inverkan av andra faktorer 5.7 Inverkan av legeringselement hos zinksmältan 5.8 Val av stål 5.8.1 Aluminiumtätade stål med oväntat låg reaktivitet 5.8.2 Risk för Sandelineffekt 5.8.3 Högre skiktjocklekar 5.9 Järn-zinkreaktioner vid bandförzinkning
6. Hållfasthet hos varmförzinkat stål 6.1 Draghållfasthet, slagseghet och formbarhet 6.2 Svetsspänningar 6.3 Utmattningshållfasthet 6.4 Sprödhet, sprickbildning 6.5 Varmförzinkat gods och brand 6.6 Varmförzinkat gods vid exponering i förhöjd temperatur 6.7 Zinkbelägningars tålighet mot nötning

7. Konstruktioners utformning och tillverkning 7.1 Säkerhetskrav 7.2 Kvalitetssynpunkter 7.2.1 Hanteringsmöjligheter 7.2.2 Inbördes rörlighet 7.2.3 Undvik konstruktioner som kan deformeras 7.2.4 Undvik olika yttillstånd och materialtyper 7.2.5 Undvik syragömmor 7.2.6 Överlappande ytor 7.2.7 Undvik fickor 7.2.8 Gängade föremål 7.2.9 Märkning 7.2.10 Svetsning 7.2.11 Övrigt
8. Standarder 8.1 Allmänna fordringar 8.2 Tjockare beläggning än standard 8.3 Övriga standarder
9. Kvalitet – kontroll, provning och åtgärder 9.1 Branschstandarder 9.2 Tjocklek 9.3 Utseende 9.4 Vidhäftning 9.5 Åtgärder vid avvikelser 9.6 Åtgärder vid skador - lagning 9.7 Approved Galvanizer

10. Zinkbelägningars korrosion 10.1 Korrosion i atmosfären 10.1.1 Rödbrun missfärgning 10.2 Korrosion i vätskor 10.2.1 Vitrost 10.3 Korrosion i jord 10.4 Galvanisk korrosion 10.4.1 Zinkbelägningars katodiska skydd 10.4.2 Galvanisk korrosion hos förzinkat stål i kontakt med ingjuten armering 10.4.3 Zinkbeläggningar i kontakt med andra metaller än stål 10.5 Varmförzinkat stål i kontakt med byggnadsmaterial 10.5.1 Varmförzinkad armering 10.5.2 Varmförzinkad armering i kloridhaltig miljö 10.6 Packning och transport av varmförzinkat gods
11. Målning av varmförzinkat stål – Duplexsystem 11.1 Livslängd hos duplexsystem 11.2 Nyförzinkade blanka ytor 11.3 Exponerade matta ytor 11.4 Rengöring och förbehandling 11.5 Färgval 11.6 Pulverlackering 11.6.1 Pinholes 11.7 Att tänka på vid duplexbehandling
12. Bågsvetsning av zinkbelagt stål – Punktsvetsning 12.1 Sprut, inträngning, porer och sprickbildning 12.1.1 Åtgärder mot sprut, minskad inträngning och interkristallin sprickbildning 12.2 Elektrodval 12.3 Rök 12.3.1 Zinkoxidens skadeverkan 12.3.2 Skydd mot svetsrök 12.4 Punktsvetsning

13. Skruvförband 13.1 Fästelement 13.2 Anligningsytor 13.3 Håltagning 13.4 Montering
14. Ekonomi vid varmförzinkning 14.1 Initialkostnad 14.2 Underhållskostnad 14.3 Livslängdskostnad
15. Zink i miljö 15.1 Allmänt 15.2 Zink i organismer 15.3 Zinkens biotillgänglighet 15.4 Användningsområde 15.5 Avrinning av zink från varmförzinkade produkter 15.6 Framställning och energiförbrukning 15.7 Återvinning 15.8 Utsläpp av zink
16. Varmförzinkningsprocessens miljöpåverkan 16.1 Branschens miljöarbete 16.2 Produkten 16.2.1 Produktinnehåll 16.3 Förpackning och transport 16.4 Materialåtervinning och energiåtgång 16.5 Tillverkning 16.5.1 Utsläpp till luft 16.5.2 Utsläpp till vatten 16.5.3 Energianvändning 16.5.4 Buller och hälsa 16.6 Miljöprofil 16.6.1 Miljöstyrning 16.7 Zinkens miljöpåverkan 16.8 Miljövarudeklaration
17. Referenser

1. Något om korrosion och korrosionsskydd

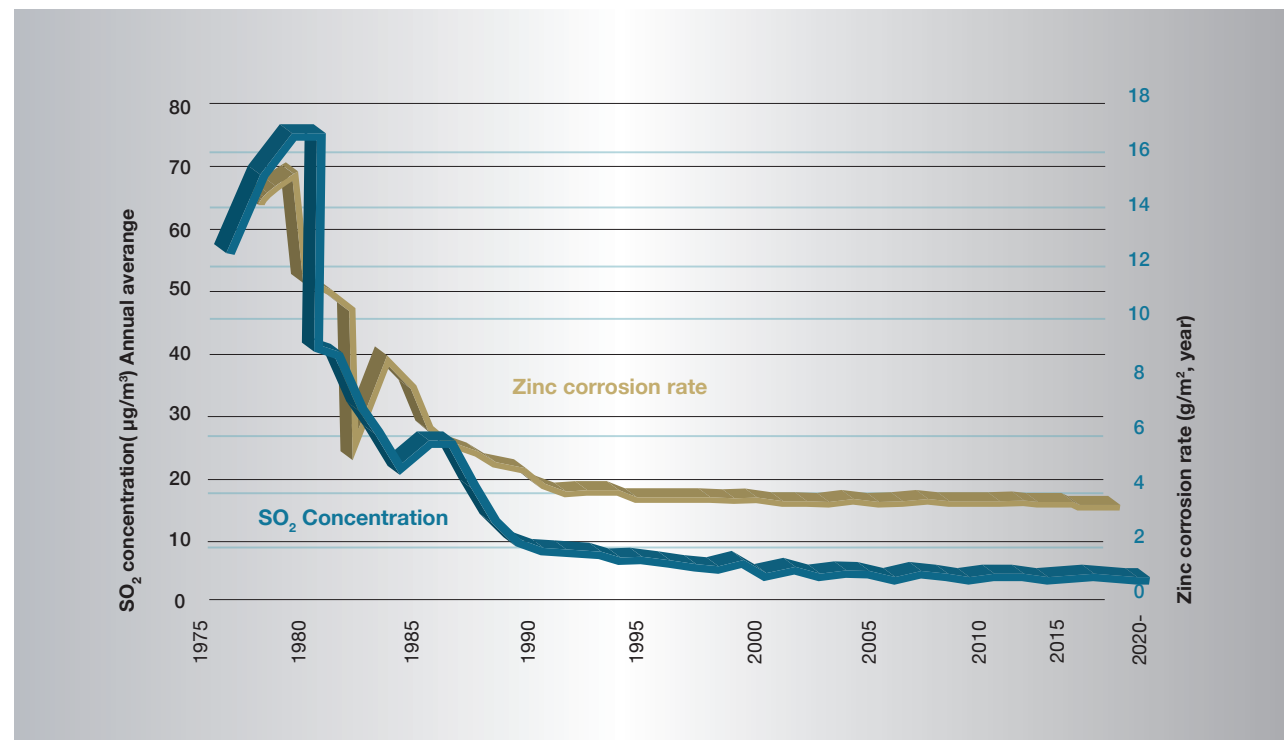


Bild 1-1. Kurvorna för halten av svaveldioxid i luften och zinkens korrosionshastighet följs åt. Data uppmätta i Stockholms innerstad från 1975 och framåt.

Under senare delen av 1900-talet minskade korrosionen betydligt både i Sverige och i övriga Europa. Detta beror på flera faktorer men mest påtagligt är den minskade svaveldioxidhalten i atmosfären. Dels har användningen av eldningsoljor minskat, dels har de som idag används lägre svavelinnehåll än tidigare. Bild 1-1 visar hur zinkens korrosion i Stockholm förändrats med tiden till följd av minskat svaveldioxidutsläpp.

Korrosion definieras enligt standard som en fysikalisk-kemisk reaktion mellan en metall och dess omgivning. Reaktionen är oftast av elektrokemisk natur. Korrosionen leder vanligen till skador på metallens funktion, dess omgivning eller på det tekniska system, i vilket metallen ingår. Skador på det korroderade föremålet kallas primärskador och skador på annat, som är en följd av den primära korrosionen, kallas för sekundärskador. Oftast är det sekundärskadorna, som orsakar den enskilde eller samhället de största kostnaderna.

I vid mening korroderar och nedbryts med tiden alla oorganiska material till stabila föreningar eller ursprungssämnerna, utom möjligen ädelmetaller.

Vid utvinningen av metall ur malm tillförs energi. Metallen representerar således ett högre energitillstånd än malmen. Vid korrosion strävar metallen efter att frigöra denna energi och återgå till det naturliga stabila tillstånd den en gång haft. Korrosionsprodukterna liknar därför ofta de föreningar ur vilka metallen framställts.

Emellertid räcker inte det högre energitillståndet ensamt till för att korrosionen skall starta. För att stål, skall korrodera - rosta - i vanliga miljöer fordras tillgång till syre och vatten (relativ fuktighet > 60 %). I de nordiska länderna råder dessa förutsättningar under största delen av året, vilket innebär att korrosionsprocessen kan fortgå.

Stål är den utan konkurrens mest använda metallen i vår tid. Dess enda stora nackdel är en i många miljöer alltför hög korrosionshastighet. Att skydda föremål av stål och stålkonstruktioner mot rost är därför av stort ekonomiskt intresse. Stål kan förhindras att rosta på något av följande sätt:

- Legering av stålet med andra grundämnen. Tillsätts krom (>13 %) erhålls rostfritt stål, vilket blir mer beständigt mot atmosfärisk korrosion ju mer krom som tillförs. Genom att tillsätta nickel och molybden kan korrosionsbeständigheten förbättras ytterligare. Hög nickelhalt ger de korrosionsbeständiga Monel- och Hastelloy-legeringarna. De flesta legeringar är dock dyra i jämförelse med olegerat eller låglegerat stål. Det är också viktigt att kontrollera att legeringarna verkligen är korrosionsbeständiga i den miljö, som de kommer att exponeras i.

- Ändring av korrosionsmiljön, vilket kan göras genom att sänka relativa fuktigheten (avfuktning), torkning, temperaturhöjning eller med tillsats av inhibitorer. Det senare är mycket vanligt i vätskemiljö. Nackdelen är att metoderna endast är användbara i begränsade utrymmen.

- Katodiskt skydd, vilket kan erhållas genom utnyttjande av sk offeranoder, med eller utan påtryckt likström. Metoden med offeranoder kan sägas vara en form av kontrollerad galvanisk korrosion, eftersom metallerna här medvetet arrangeras så att en får korrodera för att skydda den andra. Katodiskt skydd är endast användbart i närvaro av en elektrolyt, t ex vatten eller fuktig jord. Metoden används för att skydda båtskrov, kajanläggningar, oljeplattformer, tankar, rörledningar mm. Det vanligaste offeranodmaterialet är zink och magnesium, eller legeringar av dessa.

- Ytbeläggning, som kan utföras med oorganiskt eller organiskt material för att utestänga fukt och syre från stålytan. Detta är den vanligaste metoden för korrosionsskydd. De oorganiska materialen kan vara metaller, legeringar samt emaljer och de organiska färger, bitumenprodukter eller plaster. Det förekommer även att oorganiskt och organiskt material kombineras med mycket bra resultat ur korrosionssynpunkt, t ex målning/ plastning på zinkbeläggningar.



Bild 1-2. Till vänster i bild målat vägräcke som korroderat. Jämför med det varmforzinkade räcket till höger.

Metallbeläggning på stål kan tekniskt åstadkommas med de flesta metaller och en del legeringar för att ge korrosionsskydd, slitstyrka eller en dekorativ effekt. Många metaller är emellertid dyra och/eller svåra att lägga på stål. De kan även vara olämpliga på grund av hög egenkorrosion eller genom att de är ädlare än stål. Önskemålet är en metall som är enkel att lägga på, ger ett gott rostskydd samt är miljömässigt acceptabel.

Med ovanstående kriterier som bakgrund kan egentligen endast zink och aluminium komma ifråga. Magnesium vore ett möjligt alternativ, men dels är dess egenkorrosion alltför hög och dels är den mycket svår att applicera. Kadmium användes tidigare i viss utsträckning framför allt i marin miljö men dels är priset högt och dels är metallen olämplig av miljöskäl.

Aluminium har ett intressant volympris och god korrosionshårdighet i de flesta miljöer. Aluminium är dock mycket svår att applicera då det lätt oxideras av syre. Detta medför att vattenlösliga elektrolyter inte kan användas och skyddsgas behövs vid metalliseringen för att hindra oxidation. Därför används aluminium främst i kombination med zink vid tunnplåtsbeläggning (Aluzink – 55 % Al, 43,5 % Zn, 1,5 % Si) eller på tråd (Galfan – 5 % Al, 95 % Zn). Termisk sprutning med aluminium förekommer dock i viss omfattning.

För korrosionsskyddet hos metaller och legeringar är galvaniska spänningsserien, bild 10-8, en bra ledtråd då olika metaller skall kombineras med varandra. En oädlare metall skyddar oftast en ädlare genom katodiskt skydd. Mer omfattande information om olika korrosions- och korrosionsskyddsfrågor finns i litteraturen (1,2,3).

2. Val av korrosionsskydd

Vid val av rostskydd för en ståldetalj eller stålkonstruktion måste ett antal tekniska faktorer beaktas. Exponeringsmiljön för föremålet eller konstruktionen måste kartläggas liksom påkänningar vid transport, lagring och montering. Detta gäller särskilt om konstruktionen skall fraktas långa sträckor, t ex över hav. Konstruktionens utformning och storlek liksom möjligheten att lätt kontrollera den pålagda ytbeläggningen är också betydelsefulla faktorer.

Det är viktigt att göra en ordentlig prövning av de ekonomiska konsekvenserna för olika alternativ av korrosionsskydd. Särskilt viktigt är att valet inte enbart görs med initialkostnaden som bas. I den ekonomis-

ka kalkylen bör istället livslängdskostnaden väljas som bas, dvs den totala kostnaden utslagen på konstruktionens förväntade livslängd.

Totalkostnaden innefattar förutom initialkostnaden också kostnader för emballage, transporter, bättringar efter transport och montering samt underhålls- och miljökostnader. Vid en önskad livslängd på 30 år för en konstruktion blir 2 till 3 gångers underhåll under denna tid betydligt dyrare än initialkostnaden, jämfört med om ett underhållsfritt korrosionsskydd väljs. Att använda livslängdskostnaden som bas visar i regel en helt annan bild än den som enbart första påföringskostnaden ger.

För att definiera aktuell korrosivitetssklass är det lämpligt att använda relevanta standarder, se bild 2-1 som ger exempel på miljöer för olika korrosivitetssklasser, och 2-2 som visar hur mycket stål respektive zink som avverkas per år i de olika klasserna.

När man fastställt miljön och den korrosivitetssklass denna tillhör, kan lämpligt korrosionsskydd väljas. Det bör dock påpekas att klasserna enligt bild 2-1 endast är funktionsmiljöer. Utförande-, transport- och monteringsmiljöer kan medföra förändring i korrosivitetssklass, vilket också påverkar valet av rostskydd. Eftersom korrosionsskydd i korrosivitetssklass C3-C5 oftast handlar om målning eller varmförzinkning, kan det vara intressant att jämföra dessa två beläggnings typer, se bild 2-3.

I sammanhanget måste också observeras att även om zink och färg läggs på i samma syfte - nämligen att skydda mot rostangrepp - så verkar de på helt olika sätt. Zinkbeläggningen korroderar från ytan in mot stålet och ger katodiskt skydd vid skador i beläggningen. Någon rost uppstår inte mellan zinkbeläggningen och stålytan.

Färgbeläggningen däremot förstörs oftast genom att rost bildas i gränsskiktet mellan färg och stål. Färgbeläggningen ger inget katodiskt skydd och rosten kan tränga vidare under beläggningen sedan en skada skett.

Korro-sivitets-klass	Miljöns korro-sivitet	Exempel på miljöer	
		Utomhus	Inomhus
C1	Mycket liten		Uppvärmade utrymmen med torr luft och obetydliga mängder föroreningar, t ex kontor, affärer, skolor, hotell.
C2	Liten	Atmosfärer med låga halter luftföroreningar. Lantliga områden.	Icke uppvärmda utrymmen med växlande temperatur och fuktighet. Låg frekvens av fukt-kondensation och låg halt luftföroreningar, t ex sporthallar, lagerlokaler.
C3	Måttlig	Atmosfärer med viss mängd salt eller måttliga mängder luftföroreningar. Stadsområden och lätt industrialiserade områden. Områden med visst inflytande från kusten.	Utrymmen med måttlig fuktighet och viss mängd luftföroreningar från produktionsprocesser, t ex bryggerier, mejerier, tvätterier, uppvärmda ishallar.
C4	Stor	Atmosfärer med måttlig mängd salt eller påtagliga mängder luftföroreningar. Industri och kustområden.	Utrymmen med hög fuktighet och stor mängd luftföroreningar från produktionsprocesser, t ex kemiska industrier, simhallar, skeppsvarv, ej uppvärmda ishallar.
C5	Mycket stor	Industriella områden med hög luftfuktighet och aggressiv atmosfär samt kustområden med stor mängd salt i luften.	Utrymmen med nästan permanent fukt-kondensation och stor mängd luftföroreningar.
CX	Extrem	Industriella områden med extrem luftfuktighet och aggressiv tropisk eller sub-tropisk atmosfär. Offshoreområden med stor mängd salt i luften.	Industriella områden med extrem luftfuktighet och aggressiv atmosfär.

Korro-sivitets-klass	Massförlust per ytenhet samt tjockleksreduktion (Ettårig exponering ¹)			
	Stål		Zink	
	Massförlust (g/m²)	Tjockleksreduktion (µm)	Massförlust (g/m²)	Tjockleksreduktion (µm)
C1	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2	> 10 till 200	> 1,3 till 25	> 0,7 till 5	> 0,1 till 0,7
C3	> 200 till 400	> 25 till 50	> 5 till 15	> 0,7 till 2,1
C4	> 400 till 650	> 50 till 80	> 15 till 30	> 2,1 till 4,2
C5	> 650 till 1500	> 80 till 200	> 30 till 60	> 4,2 till 8,4
CX	> 1500 till 5500	> 200 till 700	> 60 till 180	> 8,4 till 25

Bild 2-2. Standardiserade korrosivitetssklasser (4)
¹Korrosionshastigheten är i allmänhet högre i början av exponeringen.

Bild 2-1. Exempel på miljöer för de olika korrosivitetssklasserna (4).

Faktor	Färgsystem	Varmförzinkning
Förbehandling	Blästring till Sa 2 ½. Otillfredsställande rengöring kan minska systemets livslängd med 60-80 %. Kontroll av förbehandlingen är av avgörande betydelse.	Betning i syra är en nödvändig del av processen. Om stálytan inte är ren bildas ingen beläggning. Kontroll av förbehandlingen är inte nödvändig.
Processvariabler	Noggrann formulering, tillblandning omrörning och rätt förtunning är faktorer av stor betydelse.	De små variationer som är möjliga har liten eller ingen inverkan på zinkbeläggningens kvalitet.
Påförings-förhållanden		
1. Temperatur	Goda resultat är svåra att erhålla om luft-temperaturen är lägre än + 10 ° eller över + 30 °. Ytor utsatta för direkt sol kan lätt få för hög temperatur.	Påverkas ej av lufttemperaturen eller normala variationer av process-temperaturen.
2. Fuktighet	Dagg och ytkondens förhindrar målning som inte heller bör utföras om den relativa fuktigheten överstiger 80 %.	Påverkas inte.
3. Luftföroreningar	Ångor, rök, gaser, damm och andra föroreningar försämrar målningens kvalitet.	Påverkas inte.
Ståltyp	Ingen inverkan.	Stålets halt av främst kisel och fosfor påverkar beläggningens tjocklek och utseende.
Beläggningens egenskaper		
1. Tjocklek	Är av stor betydelse för livslängden. Varierar med antalet skikt och påföringsmetod. Kontroll av tjockleken viktig för varje skikt.	Reaktionen mellan zink och järn ger en viss standardiserad minsta skikt tjocklek. Ökad halt av kisel i stålet liksom ökad massa och godstjocklek ger ökad beläggningstjocklek.
2. Vidhäftning	Beror på förbehandlingen, typ av färgsystem, tid mellan förbehandling och grundmålning samt härdningstid mellan skikten.	Zinkbeläggningen binds metallurgiskt till stålet.
3. Jämnhet	Färgskiktet blir tunnare över skarpa kanter och hörn. Hål och smala spalter blir i regel obelagda. "Skuggade" partier kan få tunnare skikt.	Total täckning genom doppning i smält zink. Beläggningen är i regel 50 % tjockare över skarpa kanter.
Härdningstid	Kan variera beroende på färgtyp och påförings-förhållanden från någon timme till flera dygn för god hanterbarhet och upp till flera veckor för slutgiltig hårdhet.	Beläggningen har stelnat helt inom någon sekund efter upptagning en ur zinkbadet.
Deformationer	Inga	Spänningar i godset som byggts in vid kallbearbetning eller svetsning kan utlösas så att viss deformation uppstår.
Kontroll	Måste göras efter förbehandling och efter varje steg i behandlingen för att tillförsäkra god kvalitet. Skikt tjockleken måste kontrolleras vid påföringen och hos det färdiga godset.	Visuell kontroll samt mätning av skikt tjockleken efter behandlingen.
Risk för skador vid transport och hantering	Stor. Kan fordra reparation av grundmålning och täckmålning.	Liten. Beläggningen tål stor mekanisk påfrestning. Små skador be- höver ej repareras. Stora skador repareras genom sprutförzinkning eller målning med zinkrik färg.

Bild 2-3. Jämförelse av olika processvariablers inverkan på resultatet vid målning och varmförzinkning.

3. Förzinkningsmetoder

3.1 Varmförzinkning

Ståldetaljer, som rengjorts från fett, glödskal, rost och andra föroreningar, doppas i smält zink. På ytan bildas en beläggning med varierande grad av järn-zinklegeringar och ytterst ett skikt av ren zink. Metoden är den mest använda för långvarigt korrosionsskydd och behandlas utförligt i kapitel 4.

3.2 Elförzinkning, elektrolytisk förzinkning

Stålytorna avfettas först och rengörs därefter från glödskal och rost genom betning. Ofta kompletteras också förbehandlingen med elavfettning. Godset sätts sedan ned i en vattenlösning av ett zinksalt (elektrolyt) och ansluts som katod till en likströmskälla. Som anod ansluts plattor eller kulor av ren zink (elektrolytzink 99,995 %). Elektrolyten kan vara sur, neutral eller alkalisk och zinksaltets typ avgörs därefter. När strömmen kopplas på löses zink vid anoden och vandrar som zinkjoner mot katoden där zinken utfälls på godsytan. Strömutflytet, dvs hur stor del av strömmen som åtgår för att fälla ut zink, har stor betydelse för stål som är känsliga för vätesprödhet. Detta eftersom resten av strömmen i huvudsak alstrar väte. Större föremål hängs normalt i verktyg (hängare, galgar, fixturer etc) medan mindre detaljer (massgods = skruv, mutter, beslag, etc) behandlas i trummor. Verktygen eller trummorna flyttas sedan mellan de olika baden - oftast med programstyrda robotar. Det utfällda zinkskiktet har en mycket finkristallin struktur och vidhäftar endast mekaniskt till stálytan (bild 3-1). Standardiserade skikt tjocklekar är 3, 5, 8, 12 och 20 mikrometer (µm). Normalt används 5-8 µm. Tunnare skikt förekommer främst på massgods medan tjockare skikt (> 20 µm) i regel endast kan erhållas på gods med enkel geometri, t ex tråd. Vid skikt tjocklekar över 15 µm är det oftast mer ekonomiskt att varmförzinka godset. Man bör också observera att spridningen i tjocklek vid elförzinkning kan

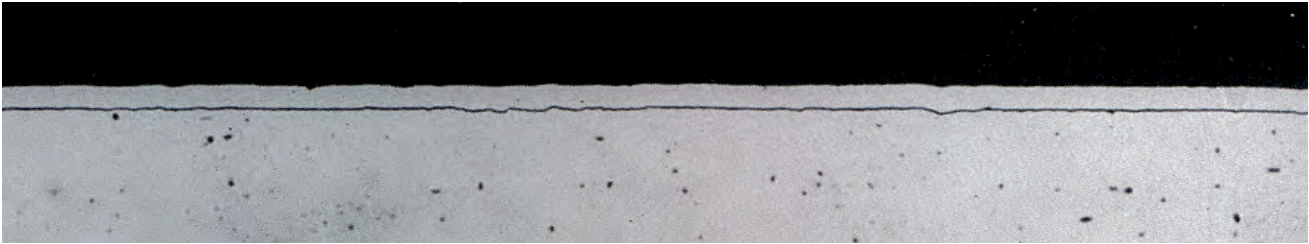


Bild 3-1. Tvärsnitt genom ett elektrolytiskt påfört zinkskikt.

variera över detaljens yta, beroende på detaljens form och anodplaceringen. Hjälp-anoder måste användas för att få beläggning invändigt eller i skärmade partier.

Zinkbeläggningens yta är mycket slät med "silvrig" metallglans. Genom s k glanstillsats till elektrolyten kan höjglänsande beläggningar erhållas. Elförzinkade föremål kromateras vanligen för att skydda zinkytan mot korrosion under lagring och transport. Kromateringsskikten är färglösa eller blåa, gula eller gröna beroende på skiktets tjocklek och kromateringsbads innehåll av 3- eller 6-värt krom. Användningen av 6-värt krom minskar dock och kommer att försvinna helt av miljöskäl.

Elförzinkade föremål bör inte användas utomhus utom vid mycket korta exponeringstider. Där skall i stället varmförzinkat användas. För vidare information om elförzinkning, kontakta SYF - Svensk Ytbehandlings Förening, www.syf.se.

3.3 Termisk sprutning, sprutförzinkning

Föremålets stályta rengörs genom noggrann blästring - till minst Sa 2 1/2 enligt gällande standard. Zink i form av tråd eller pulver matas in i en zinkspruta och smälts av en gaslåga eller ljusbåge (bild 3-2). Den smälta zinken i form av små droppar kastas mot stálytan med hjälp av tryckluft. Vidhäftningen är rent mekanisk och skiktet något porigt med rå yta. Ytan lämpar sig bra för efterföljande målning, vilket ytterligare förstärker korrosionsskyddet (bild 3-3). Skikt tjockleken kan varieras från ca 30 µm till 300 µm. För att få ett likvärdigt korrosionsskydd som vid varmförzinkning bör det sprutade skiktet vara cirka 20 % tjockare än skiktet bildat genom varmförzinkning. Metoden är lämplig för större föremål med inte alltför komplicerad form. Observera att det t ex är svårt att belägga rör invändigt. Sprutförzinkning är också väl lämpad för reparation av varmförzinkade föremål, där beläggningen skadats vid svetsning eller mekanisk åverkan. Se även gällande standard samt (6).

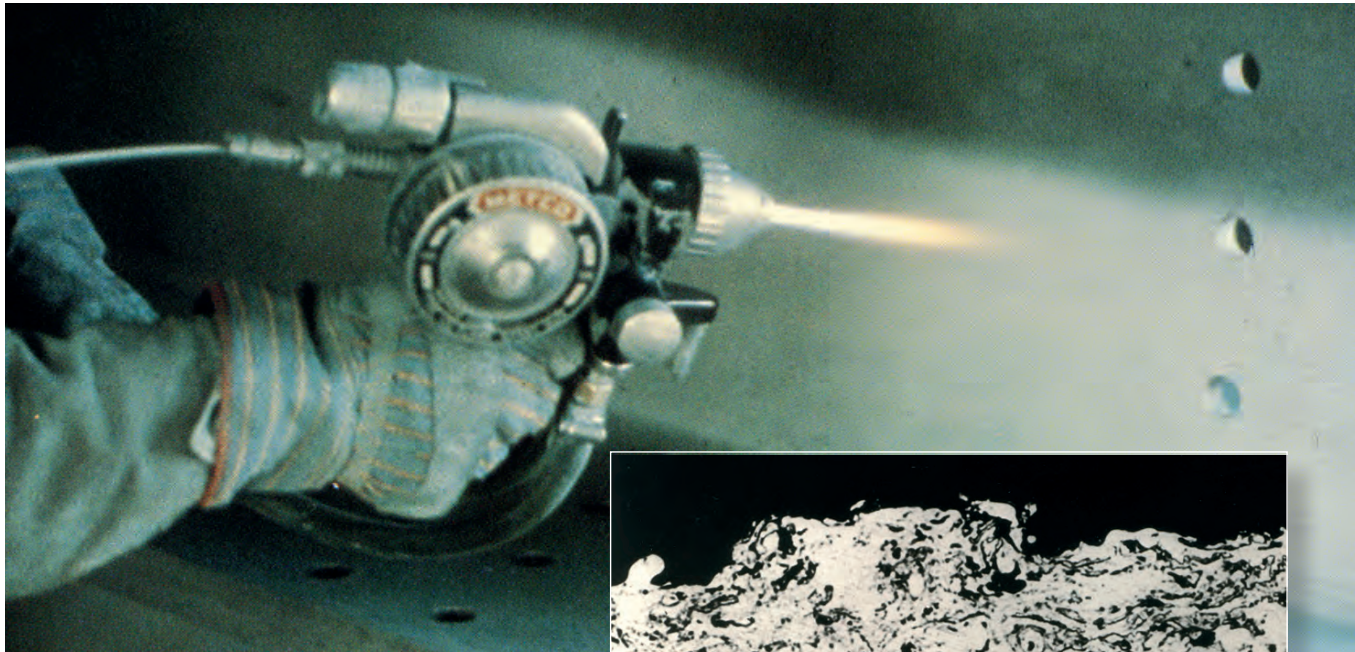


Bild 3-2. Sprutförzinkning.

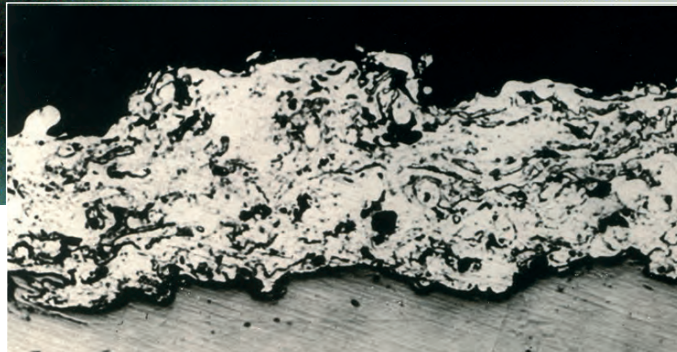


Bild 3-3. Tvärsnitt genom sprutförzinkad beläggning.

3.4 Sherardisering

De genom betning eller blästring rengjorda ståldetaljerna packas tillsammans med zinkpulver och sand i en trumma, som under rotation upphettas till strax under zinkens smältpunkt. Under viss hålltid med rotation reagerar järn och zink med varandra och bildar en järn-zinklegering på stålytan.

Sherardisering ger relativt tunna beläggningar (15-40 µm) med mörkt grå/brungrå ytor. Beläggningarna har god vidhäftning och mycket jämn skiktjocklek även på föremål med komplex form. Metoden har ungefär samma tillämpningsområde som elförzinkning. Distek Termodiffusion är en vidareutveckling av sherardisering. Processtemperaturen ligger vid denna teknik i området 320-450 °C.

Sedan ett antal år tillbaka finns en internationell standard för sherardisering, ISO 14713-3. Tidigare har Brittisk standard tillämpats. Metoden används i begränsad utsträckning i de nordiska länderna.

3.5 Mekanisk förzinkning

Efter avfettning, betning och förkoppling (kopparanslag) läggs detaljerna i en trumma tillsammans med glaskulor, zinkpulver och aktiverande kemikalier. Detaljerna trumlas därefter så att zinken med glasku-

loras hjälp fastnar på detaljerna.

Skiktjockleken regleras genom tillsatt mängd zinkpulver. Vanligen lägger man på 10-15 µm men även tjockare skikt kan erhållas. Beläggningarna blir jämna även på gods med komplicerad geometri. Ytan blir något matt.

Mekanisk förzinkning lämpar sig för härdade stål med hårdheter över 40 HRC, vilka med andra metoder riskerar att utsättas för väteförsprödning.

Egenskaperna för mekanisk förzinkning liknar de för elförzinkning.

3.6 Målning med zinkrik färg

Liksom vid sprutförzinkning skall rengöring av stålet ske med noggrann blästring – minst till Sa 2½ enligt gällande standard. Enbart skrapning eller borstning ger inte tillfredsställande resultat.

Zinkrik färg består av finfördelat zinkpulver i ett organiskt eller oorganiskt bindemedel. Såväl en- som tvåkomponentfärger förekommer. Zinkhalten i den torra färgfilmen bör vara minst 92 vikt-%, vilket motsvarar 62 volym-%. Detta för att de enskilda zinkpartiklarna skall komma i god elektrisk kontakt med varandra och med stålytan. Färgen kan påföras genom sprutning eller pensling.

Att måla med zinkrik färg kallas ibland "kallgalvanisering". Uppenbarligen vill man ge sken av att de zinkrika färgerna skulle ge zinkbeläggningar kvalitativt jämställda med de som erhålls genom varmförzinkning. Så är dock inte fallet, vilket framgår av bild 3-4. Kom ihåg att målning med zinkrik färg är ett målningsförfarande och inte en metallbeläggningsmetod.

Zinkrik färg kan användas för att reparera småskador i varmförzinkningsskikt. Påföring sker med pensel och

skiktjockleken på de reparerade områdena skall vara minst 100 µm enligt varmförzinkningsstandarden EN ISO 1461, såvida kunden (beställaren) inte föreskriver annat. Om det skadade området kommer att utsättas för belastning skall annan reparationsmetod än målning väljas.

En jämförelse av de olika beläggningarnas egenskaper visas i bild 3-5.

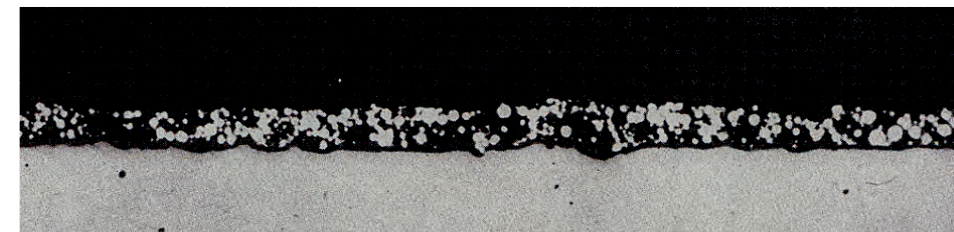


Bild 3-4. Tvärsnitt genom zinkrik färg.

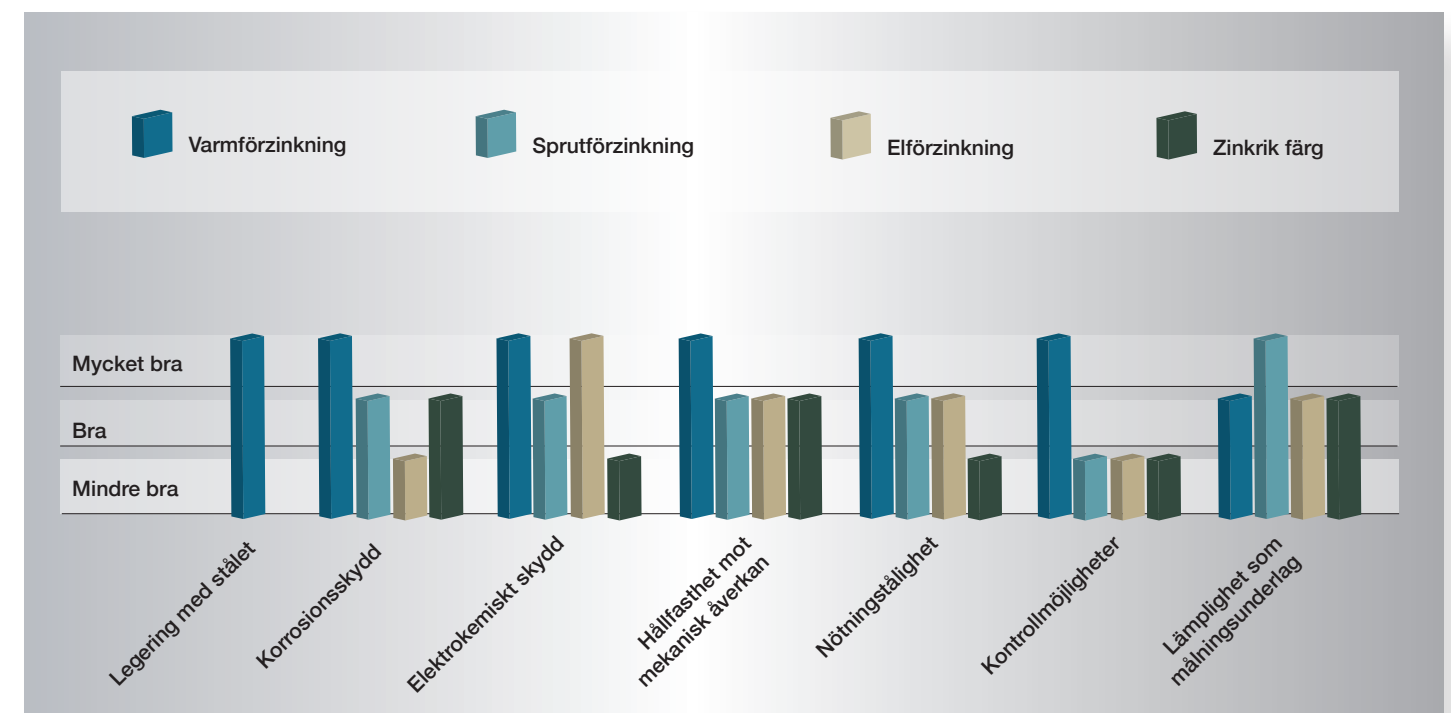


Bild 3-5. Relativ jämförelse mellan egenskaper hos olika zinkbeläggningar och zinkrik färg. Mekanisk förzinkning finns ej med i jämförelsen, men bör närmast kunna jämföras med elektrolytisk beläggning.

4. Varmförzinkning

Den franske kemisten Melouin upptäckte redan 1741 att zink kan skydda stål mot korrosion. Någon större praktisk användning fick metoden inte förrän fransmannen Sorel införde ammoniumklorid som flussmedel. Den 10 maj 1837 lämnade han in sin första patentansökan avseende varmförzinkning. Det förfarande Sorel sökte patent på används huvudsakligen än idag.

I ett tillägg i juli 1837 till sin patentansökan kallade Sorel metoden för "galvanisering". Han syftade då på den galvaniska cell som uppstår om zinkbeläggningen skadas. Stålet i skadan blir katod i cellen och skyddas mot korrosion. Namnet har sedan adopterats av andra metoder för beläggning av stål med zink och används även för elektrolytisk metallutfällning i allmänhet. För att undvika förväxlingar bör därför varmdoppning i smält zink benämnas varmförzinkning (bild 4-1).



Bild 4-1. Varmförzinkning.

4.1 Fördelar respektive begränsningar

Bland **fördelarna** kan följande nämnas:

- Lågt initialpris
- Lång livslängd och därmed låg livslängdskostnad - många gånger behövs inget underhåll under konstruktionens livslängd.
- Behandlingen utförs i fasta anläggningar efter ett bestämt system, vilket ger stor säkerhet mot fel.
- Zinkbeläggningens kvalitet är helt oberoende av vid behandlingstillfället rådande väderlek.

- Jämn och kvalitativt fullgod beläggning även på invändiga och svåråtkomliga ytor (Bild 4-2).
- Lika tjock eller tjockare beläggning över skar pa kanter och hörn som på släta ytor (Bild 4-3 och 4-4).
- Zinkbeläggningens goda motstånd mot mekanisk åverkan vid transport, lastning och montering innebär att zinksiktet sällan behöver åtgärdas på plats.
- Vid eventuella småskador skyddar zinken stålet katodiskt och mindre repor och slag märken behöver därför inte lagas.
- Varmförzinkat stål kan svetsas med alla anliga svetsmetoder.
- Enkel och snabb kontroll.

Begränsningar:

- Kan inte utföras på plats, utan endast i fasta anläggningar.
- Zinkbeläggningens kulör kan endast ändras genom målning.
- Konstruktionens dimensioner begränsas av zinkbadets storlek, om man inte svetsar efteråt alternativt använder bultförband.
- Viss risk att kallbearbetade ytor, t. ex plana plåt- ytor eller slanka balkar, "slår sig" genom värmepåverkan i zinkbadet.
- Svetsning av zinkbelagt stål kan kräva en något avvikande procedur jämfört med obelagt stål. Risk för zinkfeber föreligger om svetsrök inandas.

4.2 Utförande

Om stålytorna är förorenade av färg, t. ex vattenolöslig märkfärg, eller svetsslagg måste dessa föroreningar först avlägsnas med mekanisk bearbetning som blästring eller slipning. Formsand på gjutgods måste avlägsnas med ordentlig blästring eftersom silikatinnehållande sand inte går att beta bort i saltsyra eller järnklorid.

Fett, olja och sot tas bort genom avfettning, som antingen kan vara sur eller alkalisk. Det finns även så kallad biologisk avfettning, bestående av ett tensidbad med bakterier, som bryter ned fett och olja. Den biologiska avfettningen gör att man kan utelämnas sköljbadet och gå direkt till betning för att avlägsna rost och glödska. Betningen sker i saltsyra (ca 10-12 %) eller i järnkloridbad (5 % saltsyra och ca 170 gram järnklorid).

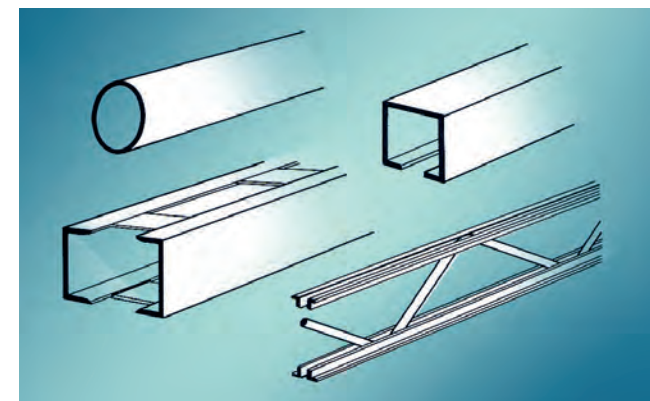


Bild 4-2. Exempel på profiler och konstruktioner med svåråtkomliga och skärmade ytor för de flesta beläggningsmetoder. Varmförzinkning ger alla ytor en lika god beläggning.

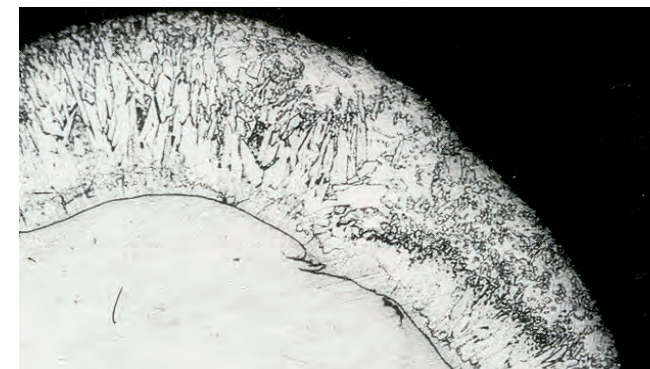


Bild 4-3. Tvärsnitt hos en gängtopp av varmförzinkad skruv. Observera att gängtoppens beläggning är något tjockare än på gängflanken.

Innan doppning i den smälta zinken måste godset först flussas. Flussens uppgift är att förhindra oxidbildning samt att lösa upp oxider på stål- och zinkbadytan så att stål och zink kommer i metallisk kontakt med varandra. Detta kan ske på två olika sätt, se nedan.

a) Torra metoden eller torrförzinkning (Bild 4-5)

Efter avfettning, betning och sköljning doppas godset i ett flussbad av zinkammoniumkloridlösning och torkas. Genom kontinuerlig rening av flussbadet hålls järnhalten under 1 gram per liter, vilket minskar hårdzinkbildningen i zinkbadet. Vid doppningen får godset ett tunt skikt av flussalter som håller oxidbildningen borta. Flussiktet renar också badytan från oxider vid neddoppningen i smält zink. Före neddoppning och upptagning av godset skummas zinkbadytan ren från oxider och flussrester.

Efter upptagningen kyls det förzinkade godset i vatten eller luft och är sedan klart för kontroll, eventuellt efterarbete, packning och utlastning.

b) Våta metoden eller våtförzinkning (Bild 4-6)

Vid den våta metoden är zinkbadets yta delat i två delar med en flyttbar tvärså. I den ena delen finns ett smält lager av flussmedel, ammoniumklorid, ovanpå zinkytan. Direkt efter avfettning och betning doppas godset genom flussmedelslagret ner i zinkbadet.

Därefter flyttas godset till den flussfria delen och badytan skummas ren från oxider och flussrester. Godset kan nu lyftas upp genom en ren, blank zinkyta. Efter upptagningen kyls det förzinkade godset i vatten eller luft och är sedan klart för kontroll, eventuellt efterarbete, packning och utlastning.

Ovanstående metoder ger ur kvalitets- och rostskyddssynpunkt helt likvärdiga beläggningar. Den torra metoden blir allt vanligare, då den är lättare att anpassa till en sluten process.

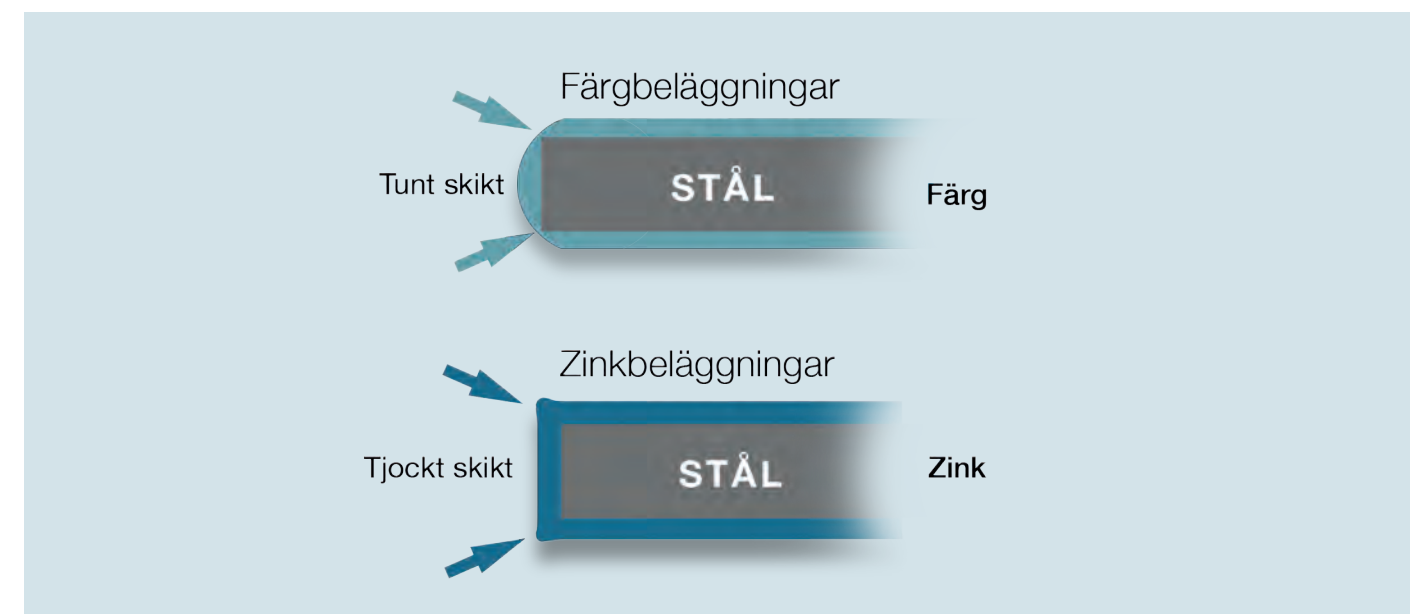


Bild 4-4. Färgbeläggningar blir tunnare över hörn och skarpa kanter. Zinkbeläggningar blir däremot tjockare över sådana ställen.

Principen för varmförzinkning enligt torra metoden.

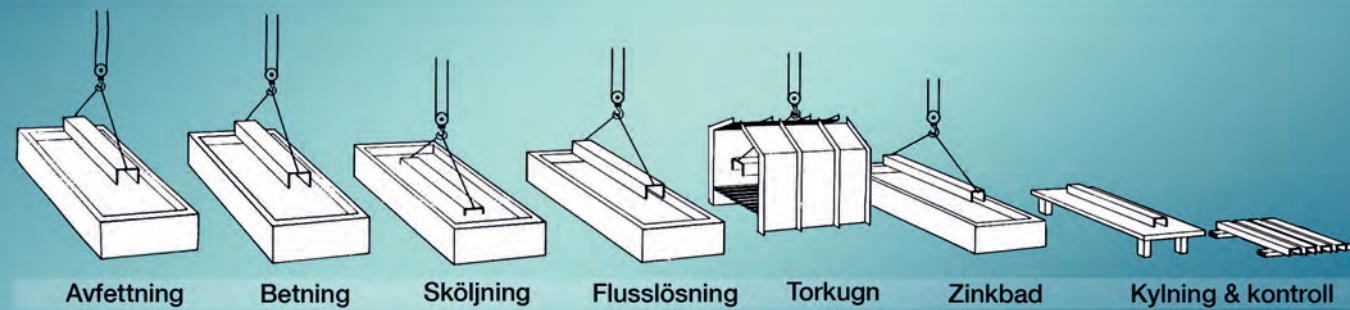


Bild 4-5. Principen för varmförzinkning enligt torra metoden. Sköljning av godset mellan avfettning och betning kan förekomma.

Principen för varmförzinkning enligt våta metoden.

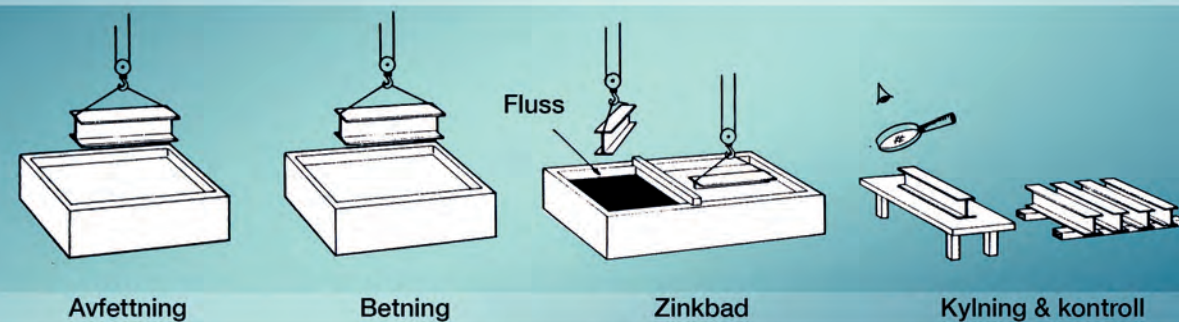


Bild 4-6. Principen för varmförzinkning enligt våta metoden. Sköljning av godset mellan avfettning och betning kan förekomma.

4.2.1 Varmförzinkning av smådetaljer – centrifugering (Bild 4-7)

Smådetaljer, som spik, skruv, mutter, brickor, beslag osv. (massgods), rengörs på tidigare beskrivet sätt. Efter flussning enligt torra metoden placeras detaljerna i perforerade korgar och doppas i zinksmältan. Efter upptagning placeras korgen i en fristående centrifug eller centrifugeras direkt över badytan, se bild 4-7. Genom rotationen (ca 800 varv/minut) slungas överskottszinken av beläggningssyterna, som därigenom blir jämna och fina. Doppningen sker normalt vid hög temperatur (540-560 °C) och zinkskiktet blir något tunnare och får en mattare yta än vid styckvis doppning vid låg temperatur (450-460 °C).

4.2.2 Tråd- och rörförzinkning

Tråd, smala band och rör varmförzinkas enligt torra eller våta metoden i kontinuerligt arbetande anläggningar.

Omedelbart efter upptagningen ur zinkbadet stryks (tråd) eller blåses (band, rör) överskottszinken av från ytorna, som blir jämna och blanka. Zinkbeläggningens tjocklek kan genom avstryknings- eller blåsningsförfarandet varieras inom vissa gränser.

4.2.3 Plåtförzinkning

Tunnplåt varmförzinkas i kontinuerliga produktionslinjer där hela processen är sammanlänkad i ett slutet ugnssystem. Basmaterialen är kallvalsad plåt i rullar som under processen svetsas samman till ett ändlöst band, bild 4-8.

Efter avfettning betas eller oxideras bandet. Därefter befrias ytan från oxider genom reduktion vid 950 °C. Samtidigt erhålls en mjukglödning av stålet. Badytan blir metalliskt ren och går i skyddsgas direkt ner i zinkbadet.

Principen för högttemperaturförzinkning med centrifugering.

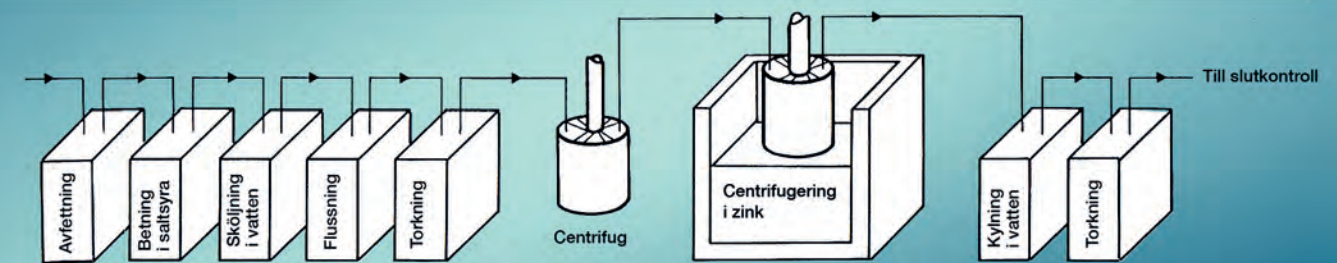


Bild 4-7. Principen för högttemperaturförzinkning med centrifugering. Sköljning av godset mellan avfettning och betning kan förekomma.

Efter några sekunder i zinkbadet går bandet upp lodrätt och passerar mellan s k jetknivar. Genom dessa blåses fina luft- eller ångstrålar som skalar av zinkbeläggningen till önskad tjocklek. Kontroll av skiktets tjocklek och styrning av jetknivarna sker med hjälp av tjocklekmätare och datorer.

Via kylsträcka, riktning och behandling mot angrepp av vitrost förs bandet antingen till formatklippning eller

upphaspling i rullar för leverans eller senare plastbeläggning, målning och/eller profilering.

Tunnplåt förzinkas antingen med mikrolegerad, låglegerad eller höglegerad zink. Den vanligaste legeringstillsatsen är i samtliga fall aluminium. Typiska aluminiumhalter är 0.2 % (varmförzinkad plåt), 5 % (Galfan) samt 55 % (Aluzink, Galvalume). Smala band kan varmförzinkas på samma sätt som tunnplåt.

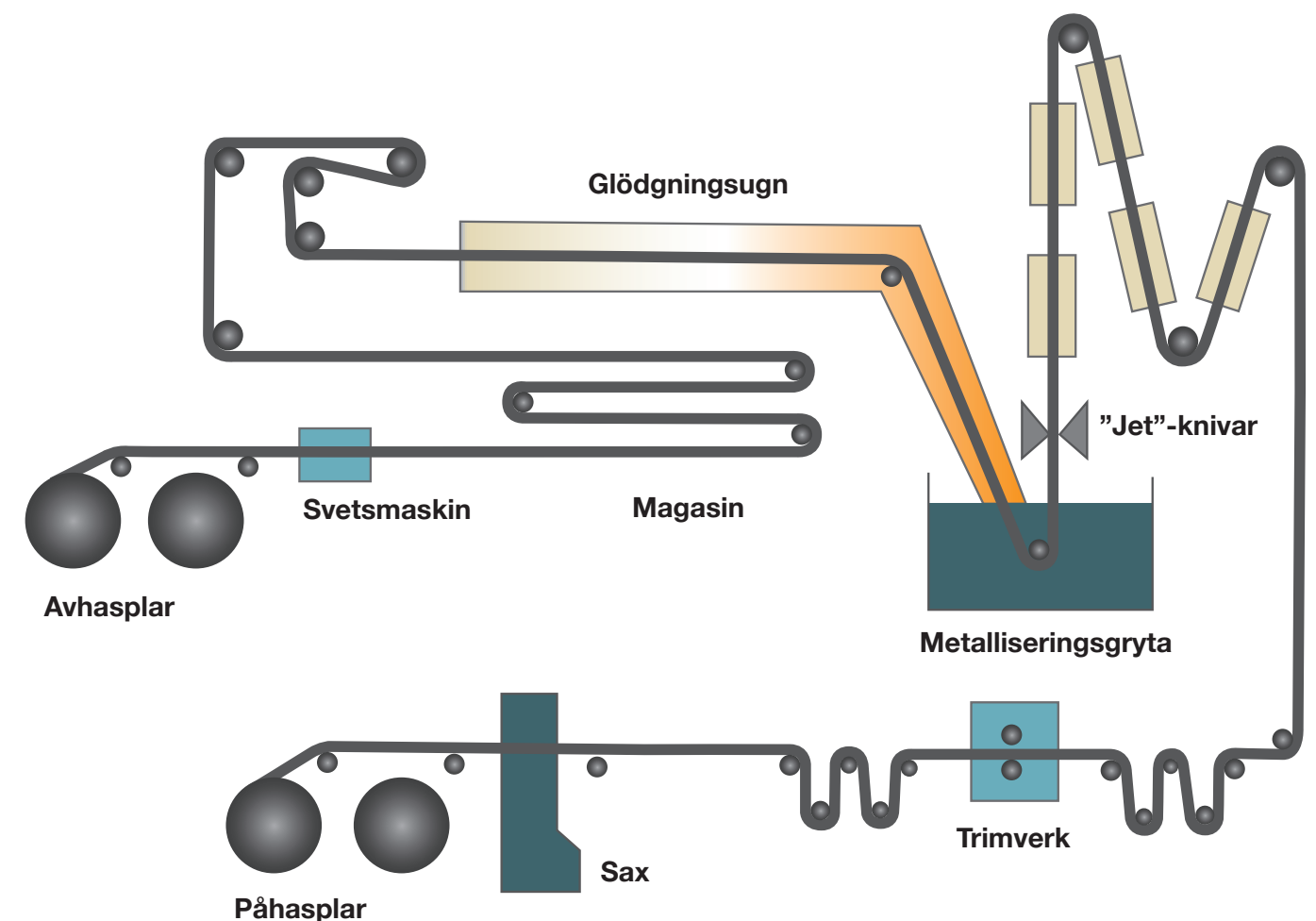


Bild 4-8. Kontinuerlig varmförzinkning av tunnplåt.

5. Reaktionerna mellan järn och zink

5.1 Skiktets uppbyggnad

Zinksmältans temperatur vid styckvis varmförzinkning är vanligtvis 450-460 °C. Vid varmförzinkning av smådetaljer (massgoods) används temperaturer kring 540-560 °C i kombination med centrifugering, vilket gör det lättare att få bort överskottszinken från bl a gängor. Temperaturer över 470 °C kräver ett keramiskt material i zinkdegeln. Vid lägre temperaturer används vanligtvis deglar av rent järn (ferrit) för att hålla nere reaktiviteten mellan zink och degelväggar.

När stål kommer i kontakt med smält zink sker en reaktion mellan metallerna så att en järn-zinklegering bildas på stålytan. Denna legering byggs upp av olika järn-zinkfaser med mot yttertan avtagande järnhalt. Vid upptagningen ur zinksmältan fastnar ett lager av ren zink på den yttersta legeringsfasen. Bild 5-1 visar schematiskt uppbyggnaden av en sådan beläggning.

Beläggningens tjocklek och ytans utseende bestäms av reaktionen med stålet och hur snabbt det yttre zinksiktet stelnar. Reaktionsförloppet är beroende av ett antal parametrar. Av dessa har stålets kemiska sammansättning störst betydelse men även stålytans tillstånd (bl. a struktur, kornstorlek, spänningar samt ytråhet) spelar in. Vidare inverkar zinksmältans sammansättning och temperatur samt doppningstid. Reaktionsförloppet är mycket komplicerat och ännu inte helt klarlagt.

Vid gjutning av stål tillsätts antingen kisel eller aluminium för att binda syre, stålet blir tätat. Stål kan även gjutas utan dessa tillsatser, och kallas då otätat.

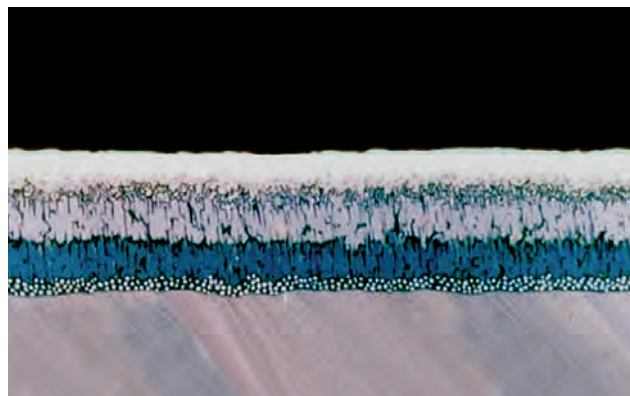


Bild 5-1. Schematisk tvärsnittsbild av zinkbeläggningens uppbyggnad. Ytterst etaskiktet med 0,3 % Fe, zetasiktet med 5,8-6,7 % Fe, deltasiktet med 7-11 % och gammaskiktet med 21-28 % Fe.

Otätat stål är dock mycket ovanligt idag. Halten av kisel (Si) och i vissa fall även fosfor (P), se kapitel 5.2, är av stor betydelse för reaktionen vid varmförzinkning.

5.2 Aluminiumtätade stål

Till denna klass av stål räknas de som har en kisel+fosforhalt under 0,03 %.

Vid varmförzinkning av dessa stål packas järn-zinkkristallerna i legeringssiktet tätt (bild 5-2). Den smälta zinken hindras således att nå stålytan. Reaktionerna kan därför endast ske mellan det järn och den zink som diffunderar genom legeringssiktet. Resultatet blir att reaktions- och tillväxthastighet avtar med tiden och beläggningen blir relativt tunn.

När zinken i det yttersta skiktet stelnar blir ytan slät och antar en svagt blåaktig metallglans (bild 5-7). I en del fall, särskilt på tunnplåt, kan zinken stelna i form av slumpvis riktade kristaller, vilket ger ytan ett utpräglat "rosmönster". Vismut-, bly- eller tenntillsatser i zinkbadet förstärker rosmönstret vid styckvis förzinkning.

Detta rosmönster är endast en särskild form av kristallbildning, som bl a beror på stelningshastigheten. Mönstret är inte något tecken på vare sig god eller dålig kvalitet hos varmförzinkningen och har inte heller någon betydelse för zinkbeläggningens korrosionshårdighet.

Vid kontinuerlig varmförzinkning av breda band kan rosmönstrets storlek kontrolleras, vilket inte är möjligt vid styckvis varmförzinkning.

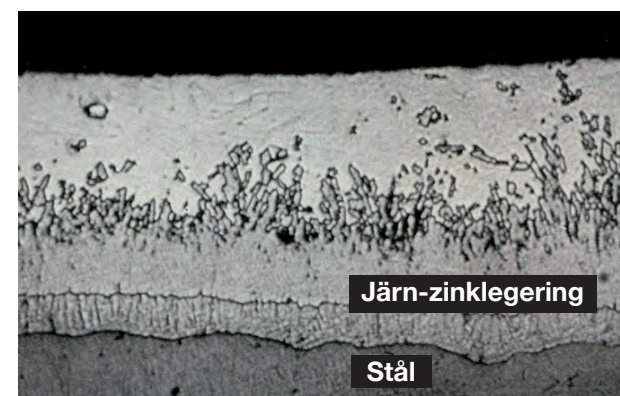


Bild 5-2. Tvärsnitt av zinkbeläggning på aluminiumtätat stål.

5.3 "Sandelinstål"

Stål med en kisel + fosforhalt i området 0,03-0,14 % kallas i varmförzinkningssammanhang för "Sandelinstål", efter Robert W Sandelin, som var bland de första att uppmärksamma att dessa stål är mycket reaktiva vid varmförzinkning och därför kräver speciella badsammansättningar. I ett konventionellt varmförzinkningsbad blir reaktionen mellan stål och zink häftig och skiktet tjockt och oregelbundet, ofta med försämrade vidhäftning. Det är kristallerna i det yttersta legeringssiktet, zeta-fasen, som växer till som små, långsträckta korn. Zink i smält fas diffunderar snabbt mellan kornen och tillväxten går mycket fort, se bild 5-5 och 5-6. Om man inte har tillgång till legerade förzinkningsbad, se kapitel 5.5, skall denna typ av stål undvikas vid varmförzinkning.

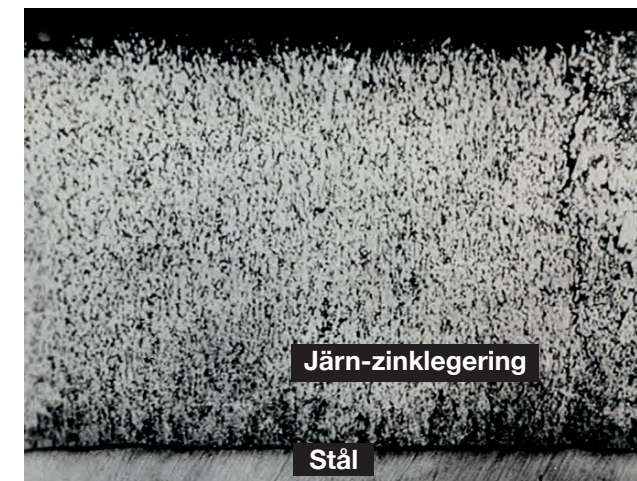


Bild 5-3. Tvärsnitt av zinkbeläggning på Sandelinstål med 0,06 % Si. Förzinkningen utförd vid 460 °C.

5.4 Kiseltätade stål

Kiseltätade stål lämpliga för varmförzinkning har en Si-halt över 0,14 %. Zeta-fasen bildas här som långa stängelkristaller, (bild 5-4).

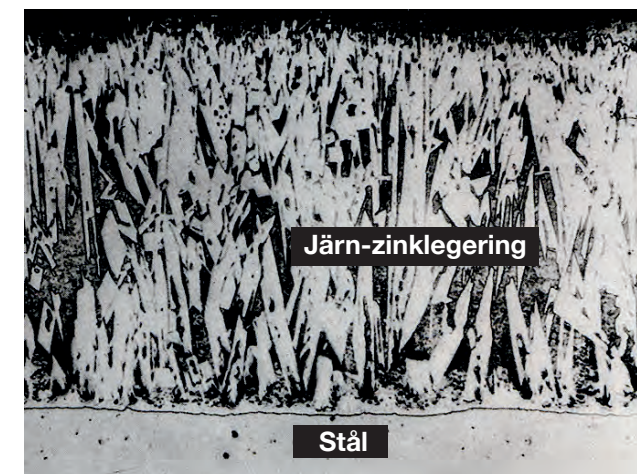


Bild 5-4. Tvärsnitt av zinkbeläggning på kiseltätat stål med 0,26 % Si (460 °C).

Även denna strukturform är liksom hos Sandelinstålen gles och tillåter zink från badet att i smält form diffundera mellan kristallerna. Reaktionen bromsas inte som hos aluminiumtätade stål utan förblir snabb under hela den tid föremålet befinner sig i zinkbadet. Beläggningens tjocklek ökar således kraftigt med ökande doppningstid (bild 5-6) och skiktet blir i allmänhet relativt tjockt. Till skillnad från Sandelinstålen är tillväxten kontrollerad och skikten är jämna med god vidhäftning till stålet.

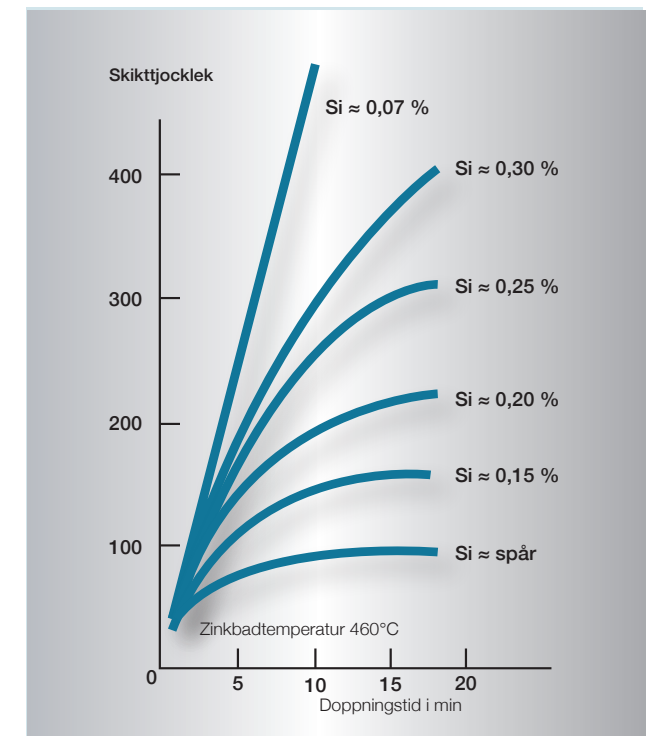


Bild 5-5. Zinkbeläggningens tjocklek som funktion av kiselhalt i stålet och doppningstid i zinkbadet. Kurvorna är medelvärden baserade på undersökningar och praktiska erfarenheter. Eftersom den kisel som reagerar är baserad på förekomsten av fri kisel i stålets yta, kan variationer förekomma trots att bulkhalten kisel är densamma.

Det måste betonas att den glesa packningen av legeringskristallerna inte betyder att zinksiktet blir poröst, dvs. fyllt av håligheter. Utrymmet mellan kristallerna är alltid fyllt med ren zink. Samma kompakta, alltigenom metalliska beläggning som hos aluminiumtätade stål erhålls även med kiseltätade stål.

Inverkan av kisel tilltar emellertid inte rätlinjigt med ökande halter utan följer de kurvor, som visas i bild 5-5. Dessa kurvor liksom de i bild 5-6 anger medelvärden. Variationerna kan vara stora mellan olika stål med samma kiselhalter men från olika charger. Variationer inom en och samma charge kan också förekomma.

Variationerna anses bl.a. bero på, att trots lika total kiselhalt i bulkanalysen hos olika stål, kan en viss mängd kisel ha bundits till syre i samband med

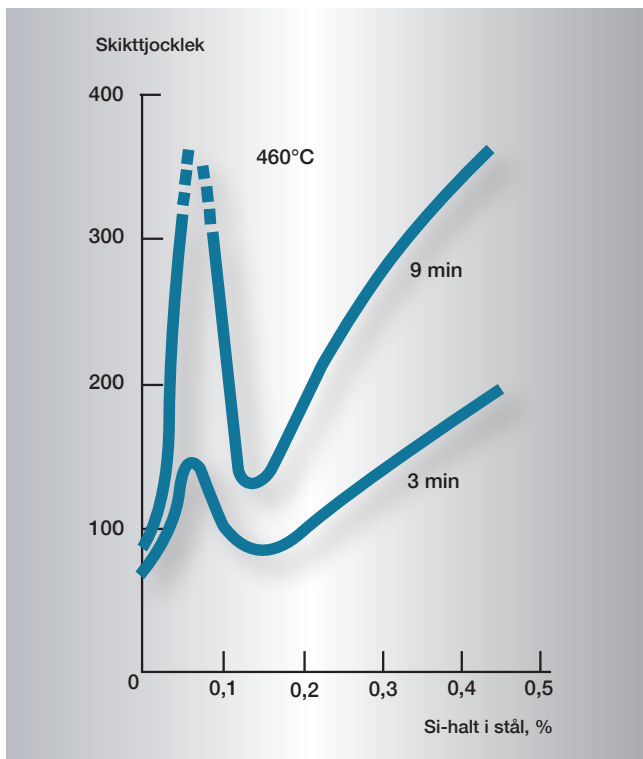


Bild 5-6. Relationen stålets kiselhalt och zinkbeläggningens tjocklek vid dopningstider på 3 respektive 9 minuter vid 460 °C.



Bild 5-7. Varmförzinkade rör med olika kiselhalt. Vissa rör är tillverkade av aluminiumtätat stål och har fått ett blankt, glänsande skikt, medan andra är tillverkade av kiseltätat stål vilket ger en mattare, grå yta.

värmebehandling av stålet. Olika mängd fri kisel finns då löst i stålet och det är enbart denna mängd som påverkar reaktionen (7). Det kompliceras ytterligare av att reaktionen mellan järn och zink endast sker på några mikrometers djup i stålytan. Kisel kan dessutom ligga ojämnt fördelat i stålets ytskikt (8). Detta gäller även en del andra element såsom svavel och fosfor, vilka också påverkar reaktionsförloppet järn-zink (9).

Vid upptagning ur zinkbadet fastnar ett renzinkskikt på legeringslagret även hos kiseltätade stål. På grund av den höga reaktiviteten fortsätter emellertid järn-zinkreaktionen även då godset lämnat badet, så länge temperaturen är tillräckligt hög, över 225 °C. Renzinkskiktet kan då helt hinna omvandlas till zetafas och ytan på zinkskiktet blir gråmatt (bild 5-7). Kulören bestäms av den andel järn-zinkkristaller som finns blandade med ren zink i beläggningens ytskikt. Kulören varierar från ljus, blank (ren zink) till grå, matt (järn-zink) yta.

Ibland blir inte ytan entydigt grå utan får ett flammigt utseende med delvis matta, grå och delvis blanka, ljusa områden. Orsakerna till detta kan vara flera. Koncentrationen av främst kisel men även fosfor och svavel samt andra ämnen i stålets ytskikt, spänningar och struktur i stålytan liksom värmebehandlingar kan påverka reaktionsförloppet. Även stålets svalningshastighet efter förzinkningen inverkar i detta avseende.

Stålets ytjämnhet, speciellt hos kallformat material, spelar också roll för zinkskiktets tillväxt. Ytråheten får inte vara för hög men ytan får heller inte vara för jämn. Zetakristallerna växer i regel ut vinkelrätt från ytan. På konvexa och i viss mån plana ytor växer således kristallerna utan att störa varandra och zinken kan lätt tränga in mellan kristallerna, vilket ökar tillväxten. På konkava ytor, i dalar och fördjupningar blockerar däremot kristallerna varandra och begränsar tillväxten.

5.5 Inverkan av legeringselement hos stålet

Kol i halter under 0,3 % har liten inverkan på järn-zinkreaktionen medan högre halter ökar reaktionshastigheten och därmed beläggningens tjocklek. Av stor betydelse är också i vilken form kolet föreligger i stålet, t.ex. ingående i perlit, sorbit, martensit osv. (10)

Mangan, krom och nickel ökar också reaktionshastigheten men endast obetydligt med de halter som är vanliga i låglegerade stål (11).

Niob, titan och vanadin används som finkornbildare i stål. Halterna är normalt så små i aktuella stål att inverkan av dessa element är försumbar (12).

Svavel- och fosforhalterna är normalt låga i konstruktionsstål och har sällan någon effekt på järn-zinkreaktionen. När det gäller fosfor finns dock ett undantag. Om kisel och fosfor gemensamt når 0,03 % befinner sig stålet i Sandelinområdet med hög reaktivitet som följd.

Högre svavelhalter – över 0,18 % i vissa automatstål – ökar reaktionshastigheten kraftigt. Sådana stål är olämpliga att varmförzinka. Reaktionen blir så häftigt att stålet förstörs.

5.6 Inverkan av andra faktorer

Temperaturen i zinkbadet är normalt 455-460 °C. Inom det praktiskt användbara temperaturområdet, 440-470 °C (lågtemperatur), ändras inte järn-zinkreaktionshastigheten i någon större grad.

Sker däremot varmförzinkningen i högttemperatur, 540-560 °C, bildas ingen zetafas. I stället bildas två deltafaser, delta kompakt och delta palissad, ovanpå gammafasen. Ytan är matt med en mörk- eller ljusgrå kulör.

Eftersom zetafasen inte bildas vid högttemperaturförzinkning har kisel ingen inverkan på järn-zinkreaktionen. Olika typer av stål reagerar på samma sätt och de erhållna beläggningarna får en likartad skiktjocklek. Det är svårt att erhålla skiktjocklekar över 100 mikrometer.

Doppningstiden i zinkbadet bestäms i regel av föremålens hanterbarhet. Vanligen ligger den mellan 1,5 till 5 minuter. Svårhanterligt och kraftigt gods kan få doppningstider på upp emot 10 minuter. Hur olika ståltypers kiselhalt inverkar på zinkskiktets tjocklek framgår av bild 5-5.

Stålets ytråhet har, som nämnts under 5.3, definitivt en koppling till skiktjockleken. Råare yta ger tjockare zinkskikt. Beroende på ståltyp och ytprofil kan t ex blästring ge 15 till 100 % tjockare beläggning. Kraftiga rostangrepp på stålet eller hård betning ger också förhöjda skiktjocklekar.

Olika bearbetningsoperationer påverkar också skiktjockleken. Vid svarvning ger stor matning tjockare skikt än liten matning. Slipning kan ge oväntade effekter. Gas- och laserskärning ger ofta tunnare zinkskikt än normalt.

Stålmaterialets tjocklek inverkar så att beläggningen blir tunnare med minskad godstjocklek. Detta gäller särskilt kiseltätade stål med godstjocklekar under 5 mm. Orsaken är bl. a att lättare föremål får kortare hanteringstid (doppningstid) i zinkbadet än tyngre.

Stålets bearbetning (valsning) och värmebehandling kan också vara olika för olika dimensioner. Detta kan ge skillnader i struktur, vilket påverkar stålets reaktivitet i zinkbadet.

Zinkbadets sammansättning kan varieras i någon grad. Basen är elektrolytzink (ofta SHG-zink – Special High Grade) med en zinkhalt på 99,995 %. Resterande tusendelar är framför allt järn. För att påverka förzinkningsresultatet tillsätts en del legeringsämnen.

5.7 Inverkan av legeringselement hos zinksmältan

De senaste åren har en intensiv forskning kring legerade bad ägt rum. Främst handlar det om aluminium eller andra tillsatser för att undvika den kraftiga inverkan av Sandelineffekten, få glansigare skikt, bättre avrinning och ökad korrosionsbeständighet.

Aluminium i små mängder (0,001-0,01 %) sätts till för att ge glansigare skikt vid varmförzinkning. Högre halter ger upphov till svarta, obelagda fläckar i zinkskiktet då befintliga flussmedel inte klarar av att omvandla all aluminiumoxid. Lite högre aluminiumhalt används vid förzinkning av band och tråd (0,1-5 %). Vid kontinuerlig varmförzinkning av tunnplåt kan aluminiumhalter på upp till 55 % användas (Aluzink).

Nickel (0,05-0,07 %) i zinkbadet minskar Sandelineffekten och ger en linjär tillväxt med ökande kiselhalt i stålet upp till ca 0,22 %. Vid högre kiselhalter har nickel ingen effekt på beläggningens tjocklek. Bild 5-8 visar skiktjocklekskurvans utseende i nickellegerade zinkbad. Genom att nickel håller tillbaka zetafasens tillväxt blir det rena, yttre zinkskiktet tjockare och beläggningen blankare. Nickel kan också användas i kombination med vismut.

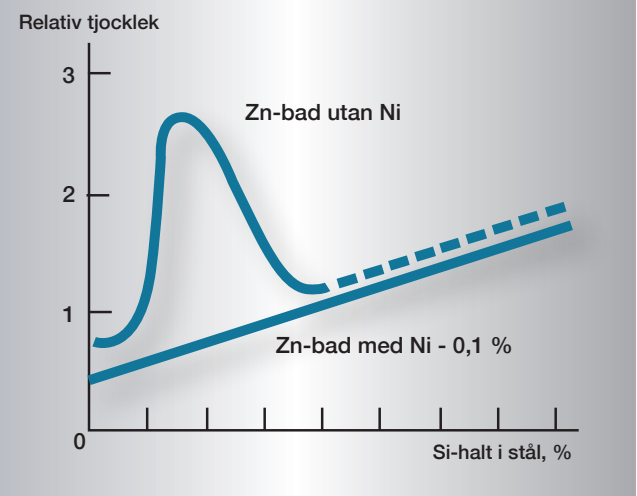


Bild 5-8. Nickeltillsats till zinkbadet påverkar Sandelineffekten. Nickels inverkan på reaktiviteten slutar vid ca 0,22 % Si i stålet.

Tidigare tillsattes bly till zinkbadet för att påverka viskositet och ytspänning hos smältan. Detta undviks idag av miljöskäl. Istället för bly kan vismut i halter mellan 0,1-0,2 % användas. Vismut har visat sig ha lika bra eller till och med bättre egenskaper än bly då det gäller att påverka avrinningen av zink vid upptag ur badet. Även vidhäftningen blir bättre, och speciellt markant verkar detta vara vid högttemperaturförzinkning.

Tenn används ibland i kombination med vismut, vilket ger zinkskiktet ett karaktäristiskt rosmönster. Tennlegerade zinkbad är främst lämpliga för mindre konstruktioner utan restspänningar från tillverkning eller svetsning, då stålets hållfasthet under vissa betingelser kan påverkas.

5.8 Val av stål

Eftersom valet av stål, och främst då stålets kiselhalt, i hög grad bestämmer zinkskiktets tjocklek vid varmförzinkning är det viktigt att konstruktören/tillverkaren känner till detta för att få sina önskemål tillgodosedda.

5.8.1 Aluminiumtätade stål med oväntat låg reaktivitet

Även de aluminiumtätade stålen innehåller låga halter av kisel, vilket påverkar reaktiviteten. På senare år har aluminiumtätade stål med så kallad ultralåg kiselhalt, under 0.01 %, och aluminiumhalt över 0.035 % blivit allt vanligare. Dessa stål har många positiva egenskaper när det gäller t ex skär- och formbarhet, men den låga kiselhalten i kombination med den höga aluminumhalten gör att zinkskikten kan bli tunnare än vad som anges i varmförzinkningsstandarden SS-EN ISO 1461. Om varmförzinkningen dessutom utförs i ett nickellegerat bad, vilket är vanligt idag då nickel anses tillföra flera positiva egenskaper, minskar detta reaktiviteten ytterligare med tunnare skikt som följd. En avvikelse från standarden för sådana stål kan avtalas mellan kund och varmförzinkare. Om en avvikelse inte kan accepteras måste denna typ av stål blåstras före varmförzinkning.

5.8.2 Risk för Sandelineffekt

Som beskrivits i kapitel 5.2 är det viktigt att kisel+forforhalten hos de aluminiumtätade stålen hålls under 0.03 % för att ett skikt med god kvalitet ska bildas. Forskningsstudier har visat att kall- respektive varmvalsade stål kan uppföra sig något olika vid varmförzinkning, vilket diskuteras nedan.

Generellt kan sägas att vid normala krav på godsets ytfinish efter förzinkning gäller följande villkor vid val av aluminiumtätat stål för både varm- och kallvalsat material:

Si+P < 0,03 vikts-%
dvs stålet skall ha en sammanlagd kisel- och fosforhalt som är under 0,03 viktsprocent.
Om kraven på ytfinish är extra höga, t ex vid arkitektoniska konstruktioner, bör följande villkor för materialval användas då det rör sig om kallvalsat stål:
Si < 0,03 och Si+2,5P < 0,04 vikts-%

(Observera koefficienten på fosforhalten i formeln ovan).

När det gäller varmvalsat stål är det kiselinnehållet som är det mest kritiska, medan fosforinnehållet är av mindre betydelse. Följande villkor brukar kunna användas för varmvalsat stål:

Si < 0,02 och Si+2,5P < 0,09 vikts-%
(Observera koefficienten på fosforhalten i formeln ovan).

5.8.3 Högre skikt tjocklekar

Skall det varmförzinkade stålet användas i en mer korrosiv miljö än den normala ger det informativa tillägget i SS-EN ISO 1461 råd och anvisningar. Kiselhalten i stålen skall då vara > 0,22 %. Ju högre halt desto tjockare zinkskikt.

Vid extrema korrosionsförhållanden kan tjocka zinkskikt väljas alternativt en kombination av varmförzinkning och målning, se kapitel 11.

Önskas ett blankt utseende på zinkbeläggningen skall ett aluminiumtätat stål väljas.

5.9 Järn-zinkreaktion vid bandförzinkning

Vid kontinuerlig varmförzinkning av tunnplåt är utgångsmaterialet kallvalsade stålband med för metoden avpassad sammansättning. Doppningstiden i zinkbadet är mycket kort och temperaturen hålls inom snäva gränser. Zinkbadet legeras med en liten mängd aluminium - ca 0,2 % - som har egenskapen att hämma järn-zinkreaktionen vid korta doppningstider. Legeringsskiktet blir mycket tunt, ca 1-2 µm. Resten av beläggningen består av ren zink, från 7 µm upp till 30 µm, (bild 5-9) beroende på användningsområde.

Järn-zinklegeringarna är relativt hårda och spröda. Genom att de till största delen ersatts med mjuk, formbar zink kan kontinuerligt varmförzinkad plåt böjas, bockas, falsas, pressas och t o m djupdras utan att beläggningen spricker eller flagnar av.

Som nämnts under 5.7 kan tunnplåt även beläggas med aluminiumlegerad zink. Vanliga handelsnamn är Galfan (5 % Al) eller Galvalume/Aluzink (55 % Al).

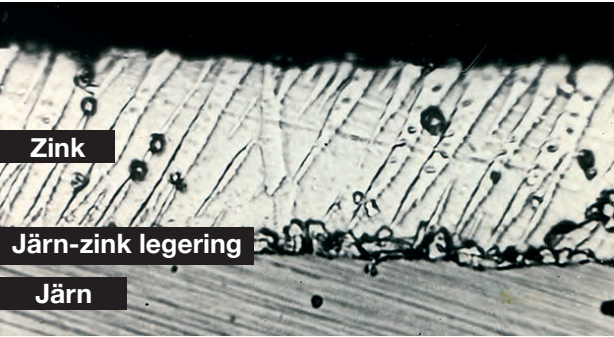


Bild 5-9. Tvärsnitt av zinkskiktet hos kontinuerligt varmförzinkad tunnplåt.

6. Hållfasthet hos varmförzinkade stål

6.1 Draghållfasthet, slagseghet och formbarhet

Ett mycket stort antal försök och prov har under åren utförts för att se om och i vilken grad varmförzinkning påverkar hållfastheten hos lågkolhaltiga, olegerade och låglegerade stål. Nedan sammanfattas de viktigaste undersökningsresultaten.

Brottgräns, sträckgräns, brottöjning och kontraktion hos varmförzinkade stål är praktiskt taget oförändrade efter varmförzinkning i såväl svetsat som icke svetsat tillstånd.

Hållfastheten hos kallbearbetade eller värmebehandlade stål kan nedsättas vid varmförzinkning. Hur stor nedsättningen blir beror på bearbetningsgraden samt värmebehandlingsens art, t.ex. om anlöpningstemperaturen är lägre än zinkbadets temperatur.

Slagsegheten hos varmförzinkat stål minskar något jämfört med artificiellt åldrade prover, dock inte så mycket att stålets användningsmöjligheter påverkas.

Formbarheten hos stål påverkas inte av varmförzinkning. Kraftig bockning kan dock medföra att zinkbeläggningen spricker.

6.2 Svetsspänningar

I svetsade konstruktioner reduceras svetsspänningarna till viss del vid varmförzinkning. Hårdspänningar i den vid svetsningen värmepåverkande zonen reduceras också. Svetsade konstruktioner får på så sätt högre statisk hållfasthet i varmförzinkat än i obehandlat tillstånd.

6.3 Utmattningshållfasthet

Utmattningshållfastheten hos olika ståltyper påverkas mer eller mindre av varmförzinkning. Aluminiumtätade stål får en relativt liten nedsättning medan den hos kiseltätade stål kan bli något större.

Orsaken till detta är zinkskiktets uppbyggnad, där de kiseltätade stålen har en större andel järn-zinkfas i skiktet, se kapitel 5.4. Järn-zinkfasen är hård och spröd, vilket medför att sprickor kan bildas. Dessa sprickor kan sedan verka som anvisningar för sprickor i stållytan.

Vid utvärdering av tester utförda i laboratoriemiljö bör beaktas att det varmförzinkade materialet jämförs

med nytt, obehandlat material. Exponeras ett obehandlat material - utan korrosionsskydd - utomhus angräps det genast av korrosion. Frätgropar uppstår i stållytan, vilka tjänar som sprickanvisningar i stålet, och utmattningshållfastheten sjunker snabbt. Samma sak gäller en målad konstruktion med skador i färgskiktet i vilka korrosion startar. Hos ett varmförzinkat stål skyddar zinken mot korrosion och den sänkning av utmattningshållfastheten som varmförzinkning orsakar är betydligt mindre än den sänkning ett korrosionsangrepp ger (bild 6-1).

6.4 Sprödhet, sprickbildning

Vid varmförzinkning bör man vara uppmärksam på om detaljerna är kallbearbetade.

Kallbearbetning sänker ett ståls slagseghet och höjer omslagstemperaturen för sprött brott. Efterföljande åldring vid förhöjda temperaturer förstärker denna effekt. Vid varmförzinkning av kallbearbetade stål sker en värmning (460 °C), som i vissa fall kan ge en sådan åldersförspädning.

I tveksamma fall bör man utföra prov före varmförzinkning. Vid icke godkända värden bör man före förzinkningen utföra en avspänningsglödning vid 600-650 °C alternativt en normalisering. Åldringsbenägna stål är numera ganska ovanliga.

Väte- eller hydrogensprödhet uppstår inte vid varmförzinkning av vanliga olegerade eller låglegerade konstruktionsstål. Däremot kan härdade stål med hårdheter över 33 Rockwell C ta upp väte i betbadet, vilket kan ge sprödhet. För säkerhets skull bör sådana material provas innan större partier varmförzinkas. Blåstring i stället för betning är en möjlighet att undvika problemet.

Interkristallin sprickbildning eller zinksprödhet kan uppträda vid varmförzinkning om stora spänningar byggts in i stålet. Sprickbildningar i stålet kan medföra att zink tränger in i stålets korngränser och försvagar stålet. Vanliga konstruktionsstål är dock inte känsliga för detta och liksom vid vätesprödhet gäller känsligheten främst härdade stål.

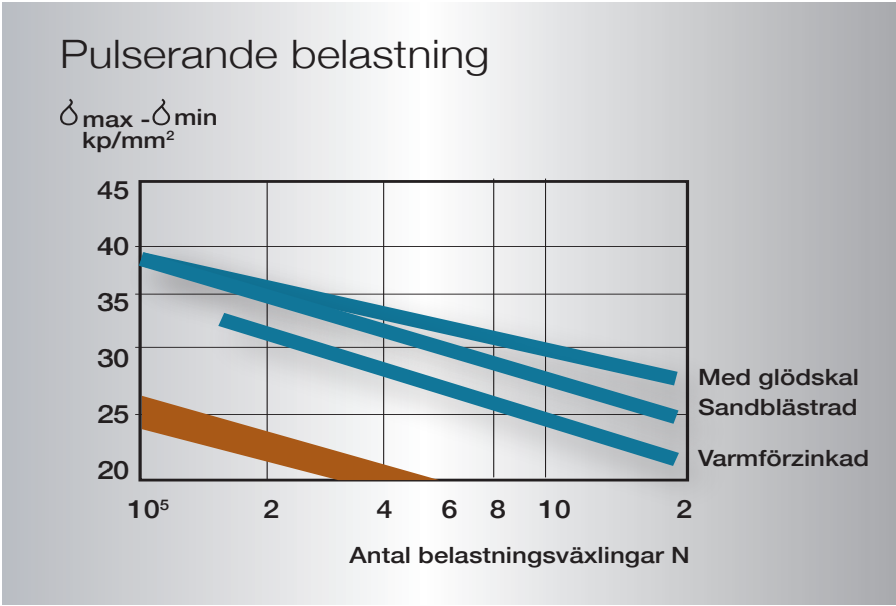


Bild 6-1. Wöhlerkurvor för stål S355, pulserande belastning. Det bruna bandet indikerar förloppet vid normal korrosionsutmattnings.

6.5 Varmförzinkat gods och brand

Varmförzinkat stål brinner inte men hållfastheten minskar när temperaturen stiger. Stålkonstruktioner förblir stabila tills den kritiska temperaturen nås. Detta sker mellan 500 och 750 °C beroende på belastningsförhållandena.

Brandskyddet börjar alltid på planeringsstadiet. Brandrisk och kostnader för brandskydd kan ofta reduceras med hjälp av en genomtänkt konstruktionsutformning.

Eldmotståndstiden är den minimitid i minuter som en konstruktion fullföljer sin uppgift vid en standardbrand. Konstruktionen får således inte kollapsa under denna tid. Minimitiden ligger till grund för klassificering enligt bild 6-2.

Tiden kan förlängas med följande åtgärder:

- Fördröjning av värmeperitering med hjälp av täckning (täckning med betong eller mineralfiber)
- Bortledning av värmen genom att t ex fylla pelare med vatten eller betong.

För varmförzinkning väljs ofta det första alternativet och konstruktionen klassas då i eldmotståndsklass F 30-60.

I princip kan man använda samma metoder för varmförzinkat stål som för obelagt stål när det gäller brandskyddsklasser.

6.6 Varmförzinkat gods vid exponering i förhöjd temperatur

I projektet "Varmförzinkning av svåra stål", som utfördes i Nordic Galvanizers' regi i samarbete med forskningsinstitutet RISE KIMAB, studerades bland annat hur varmförzinkat stål uppför sig i förhöjda temperaturer (13). Tidigare har sagts, att skikten klarar sig vid temperaturer upp till 275 °C. Detta är sant, om exponeringen är förhållandevis kort, men för exponeringstider längre än några veckor stämmer inte ovanstående gradtal.

Studierna har visat att högttemperaturskikt klarar värmeexponering sämre än lågttemperaturskikt. Detta beror på att varmhållningen medför diffusionsbetingade fasomvandlingar i zinkskiktet, d.v.s. den

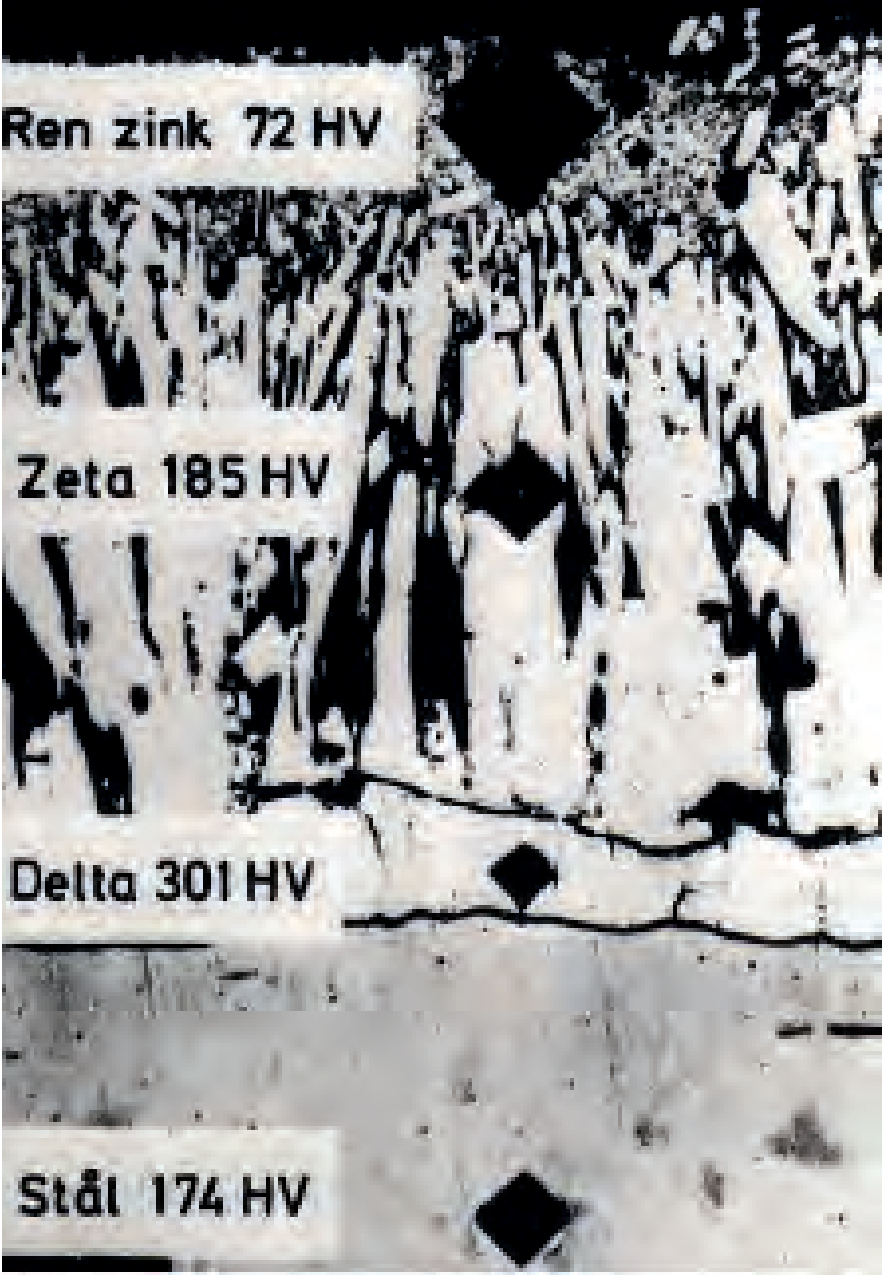


Bild 6-3. Intryck från mikrohårdhetsmätningar i stål samt i zinkskiktets olika faser.

rena yttersta zinkfasen omvandlas till intermetallisk fas. När intermetallisk fas (järn-zinkfaser) fås i hela skiktet, ökar sprödheten och sprickbildning kan ske i skiktet, speciellt när det svalnar (cykliska förlopp). Högttemperaturskikt är känsligare, eftersom de ofta redan från början endast innehåller intermetallisk fas.

Kombinationer med förhöjd temperatur och mekanisk påkänning, t ex i form av vibrationer, skall också undvikas.

Bästa möjligheten att klara förhöjd temperatur under längre tid har således lågttemperaturskikt med stor andel ren zink.

Varmförzinkade produkter bör inte användas över följande maximala temperaturer:

- A) Lågttemperaturskikt: 225 °C
(för kortare tid kan 250 °C accepteras)

- B) Högttemperaturskikt: 200 °C

6.7 Zinkbeläggningars tålighet mot nötning

Ren zink är en mjuk metall, men trots detta hårdare än de flesta organiska beläggningmaterial. De intermetalliska järn-zinkfaserna som bildas vid varmförzinkning är däremot mycket hårda, t o m hårdare än vanliga konstruktionsstål, bild 6-3.

Järn-zinkfaserna tål därför nötning betydligt bättre än ren zink. Försök har visat att legeringsskiktet har en hårdighet mot nötning som är 4-5 gånger bättre än hos renzinkskiktet (14).

Varmförzinkning används ofta för produkter där ytan utsätts för nötning. Exempel på detta är trösklar i fordon, transportvagnar, trappsteg, kantskoningar, luckor i golv, ledstänger osv.

Eldmotståndsklass	Eldmotståndstid Minuter	Beteckning i byggnadsinspektionsreglerna
F 30	≥ 30	Eldresistant
F 60	≥ 60	Eldresistant
F 90	≥ 90	Eldfast
F 120	≥ 120	Eldfast
F 180	≥ 180	Mycket eldfast

Bild 6-2. Eldmotståndsklasser

7. Konstruktionens utformning och tillverkning

Konstruktionsutformning för varmförzinkning sammanfaller i stort med vad som gäller för god konstruktions-, ytbehandlings- och svetspraxis i allmänhet. Vissa detaljer fordrar dock speciell uppmärksamhet vid varmförzinkning:

- Storleken på zinkgrytan. Grytans mått (bild 7-2) bestämmer storleken på konstruktionen. Ibland kan dubbeldoppning lösa problemet (bild 7-3), alternativt att ihopmontering sker efter varmförzinkning.
- Skruvförband är att föredra framför svetsning, eftersom svetsning bränner av zinksiktet, som därmed måste repareras.
- Konstruktionens vikt. Varmförzinkaren har endast möjlighet att ta emot gods som telfrar eller kranar klarar av.

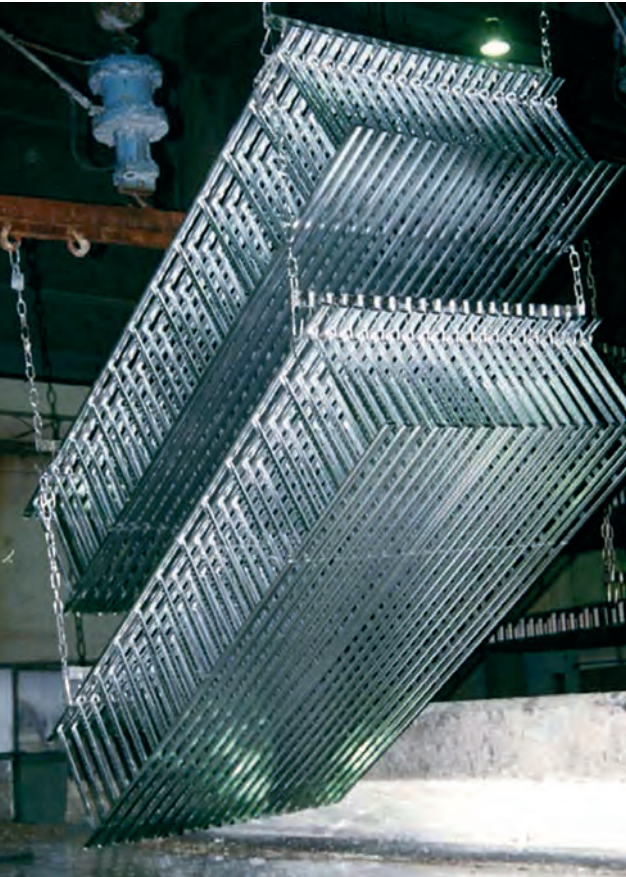


Bild 7-1. Varmförzinkning av kabelstegar. Lutningen av lyftet ger god avrinning av överskottszink.

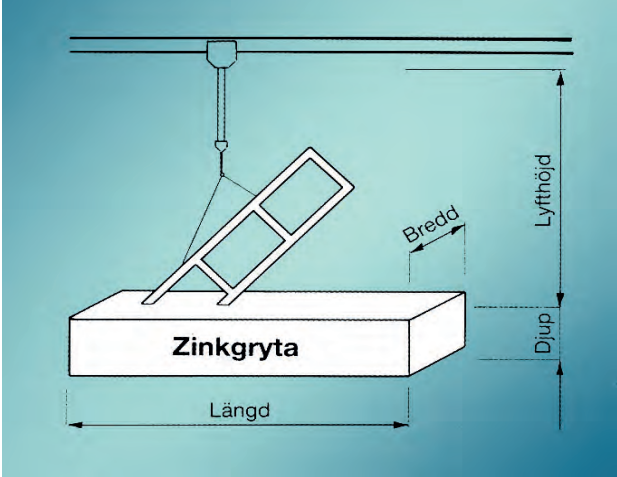


Bild 7-2. Principskiss för varmförzinkningsoperation.

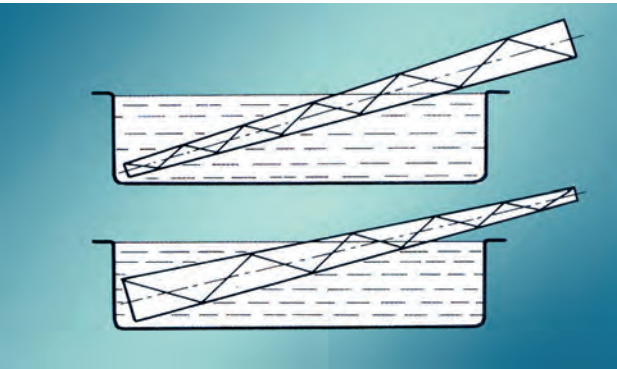


Bild 7-3. Principskiss för dubbeldoppning.

7.1 Säkerhetskrav

Varmförzinkning innebär doppning i förbehandlingsbad och därefter i ett bad med smält zink. Detta innebär att konstruktioner med inre hålrum måste förses med hål för dränering och avluftning. Otillräcklig håltagning medför att konstruktionen kan sprängas i det varma zinkbadet.

Betsyra har stor förmåga att tränga in t.o.m. genom porer i svetsar. Vid doppningen i zinkbadet förångas denna betsyra och trycket kan bli så högt att föremålet sprängs. Risken för allvarliga person- och materialskador är mycket stor vid sådana sprängningar. Se vidare kap 7.2.5 och 7.2.9.

Lämpliga storlekar för håltagning ges i bild 7-4. Observera dock att detta är minimumstorlekar, hålen kan gärna göras större så länge inte konstruktionens hållfasthet försämras.

Rund profil (mm)	Kvadratisk profil (mm)	Rektangulär profil (mm)	Diameter hål (mm)
20	< 20	30x15	10
30	< 30	40x20	12
40	< 40	50x30	14
50	< 50	60x40	16
60	< 60	80x40	20
80	< 80	100x60	20
100	< 100	120x80	25
120	< 120	160x80	30
160	< 160	200x120	30

Bild 7-4. Minsta rekommenderade hålstorlekar för luftning av rörkonstruktioner.

Hålen måste placeras så att vätskor och zink lätt kan rinna in och ut (se bildmaterial).

Vid tveksamhet om håluptagning, kontakta utförande varmförzinkningsföretag för diskussion om placeringar och hålstorlekar.

7.2 Kvalitetssynpunkter

Följande anvisningar är i och för sig inte förutsättningar för att varmförzinkning skall kunna utföras. Beaktas de underlättas emellertid förzinkningen och kvaliteten förbättras avsevärt.

7.2.1 Hanteringsmöjligheter

En konstruktion bör helst utformas med lätthanterliga delar som sedan monteras ihop efter varmförzinkningen, gärna med skruvförband. Om det behövs skall föremålen förses med lyfthål eller lyftöglor där verktyg för förzinkningen kan kopplas. Rörstosar i behållare skall placeras som i bild 7-8.

7.2.2 Inbördes rörlighet

Delar, som skall vara rörliga i förhållande till varandra, bör monteras efter varmförzinkning. Är detta inte möjligt måste ett spel på 1 mm på varje sida finnas, dvs 2 mm större än axeln.

7.2.3 Undvik konstruktioner som kan deformeras

Material med sinsemellan alltför olika godstjocklekar bör inte kombineras i samma stycke (bild 7-7). Uppvärmningen i zinkbadet blir ojämn och föremålet kan slå sig. Långa, slanka konstruktioner bör undvikas. Större plana plåtytor vid plåttjocklekar under 3-4 mm bör förstytvas (bild 7-9) för att inte slå sig.

7.2.4 Undvik olika ytillstånd och materialtyper

Nyvalsat stål skall inte svetsas samman med gjutjärn eller stål angripet av gravrost. Sådana material måste behandlas på olika sätt, något som inte är möjligt om de är ihopsvetsade. Zinkbeläggningarna blir olika tjocka och ytorna får därmed olika utseende.

Olika ståltyper, som aluminium- och kiseltätat stål, bör inte svetsas ihop. Ytans utseende blir olika och zinkbeläggningarna olika tjocka, bild 5-7.

7.2.5 Undvik syragömmor

Konstruktioner skall utformas så att smala spalter inte uppstår, se bild 7-10 och 7-13. Stumsvetsar är i förzinkningssammanhang klart bättre än överlappsvetsar.

Måste överlappsvetsar användas skall de svetsas runt hela fogen. Viktigt är att genomgående porer inte uppstår. Har syra trängt in i en spalt kan den sedan inte avlägsnas. Zink är mera trögflytande än syra och lägger sig vid varmförzinkningen som ett lock över öppningen. Efter en tid fräter syra och järnsalter hål på beläggningen över öppningen. Rostfärgad vätska rinner då ut på ytorna nedanför och skämmer utseendet (bild 7-11).

Gjutgoods bör ha en jämn, tät och sandfri yta. Porer och håligheter kan verka som syragömmor och bör därför inte finnas.

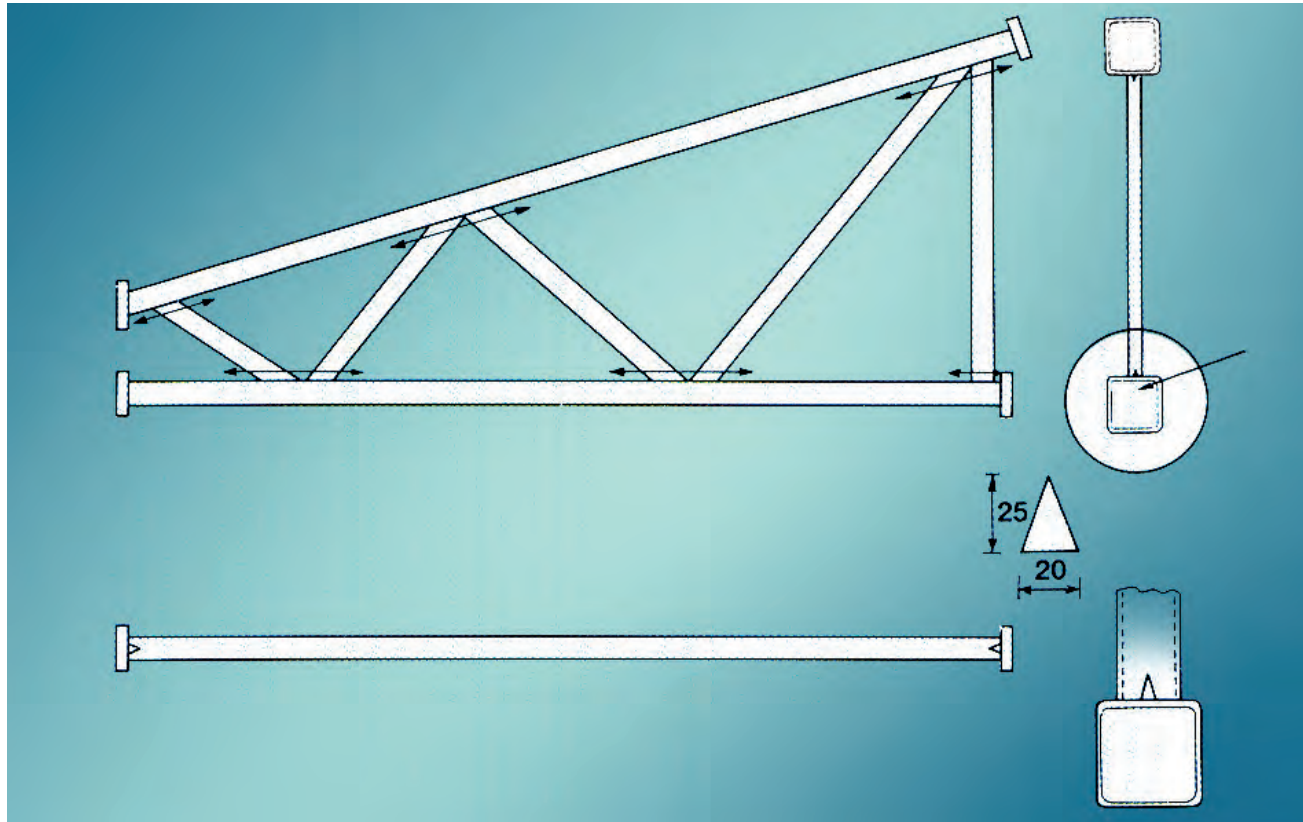


Bild 7-5. I svetsade konstruktioner måste hål tas upp i alla knutpunkter för utluftning och för zinkens in- och uttrinng. Slutna rör medför explosionsrisk.

7.2.6 Överlappande ytor

På samma sätt som vid inre hålrum, (kapitel 7.1) måste överlappande ytor förses med hål för dränering och avluftning. Otillräcklig håltagning medför att konstruktionen kan sprängas i det varma zinkbadet. Anvisningar angående hålens storlek och placering ges i tabell 7.2.

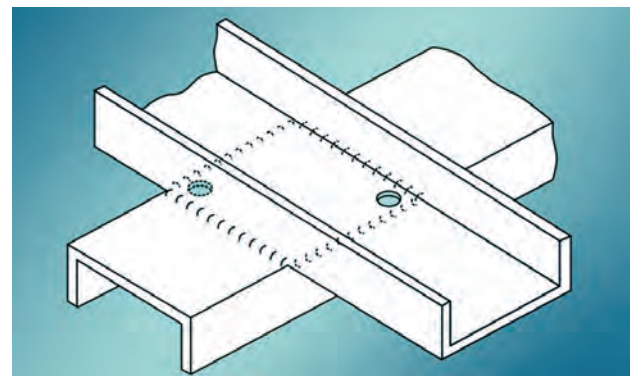
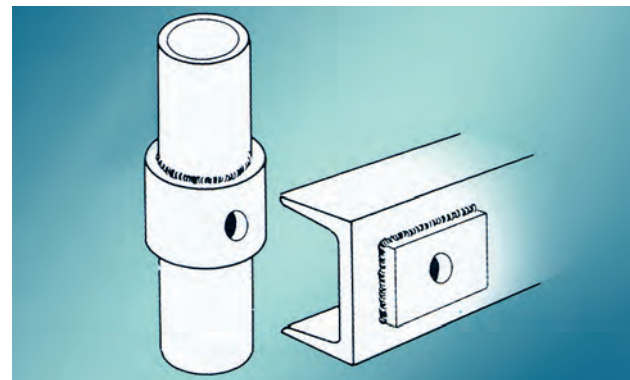


Bild 7-6. Om påsvetsade förstärkningar och överlappsskydd finns måste ytan förses med hål.



Överlappande yta	Rekommenderad åtgärd
Upp till 100 cm ²	Tätsvetsat runt om. Materialet ska vara torrt vid svetsningen och ytorna släta så att de kan sammanfogas med minsta möjliga spalt emellan.
100 till 1000 cm ²	Diagonalt placerat (se bild ovan): 2 x ≥ 12 mm hål i hörnen (Alternativt: 2 x ≥ 25 mm intermittent svets i hörnen)
1000 till 2500 cm ²	4 x ≥ 12 mm hål i hörnen (Alternativt: 4 x ≥ 25 mm intermittent svets i hörnen)
≥ 2500 cm ²	Diagonalt placerat (se bild ovan): 2 ≥ 12 mm hål i hörnen och dessutom hål var 300 mm runt om hela den påsvetsade plåten (Alternativt: 2 ≥ 25 mm intermittent svets i hörnen och dessutom ≥ 25 mm intermittent svets var 300 mm runt om hela den påsvetsade plåten)

Tabell 7-2. Rekommendationer angående dräneringshål för överlappande ytor samt deras storlek och placering enligt standarden ISO 14713-2. Hålen ska vara placerade på ett lämpligt sätt i förhållande till hur konstruktionen kommer att hänga under dopningen.

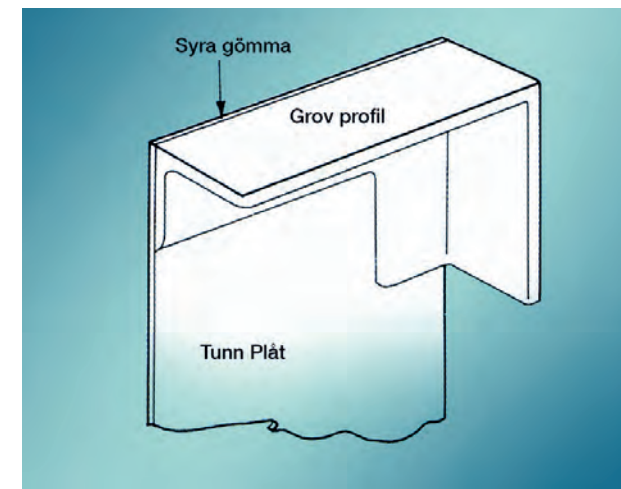


Bild 7-7. Svetsa inte ihop delar med alltför avvikande godstjocklekar. Risk för deformation vid värmning och avkylning.

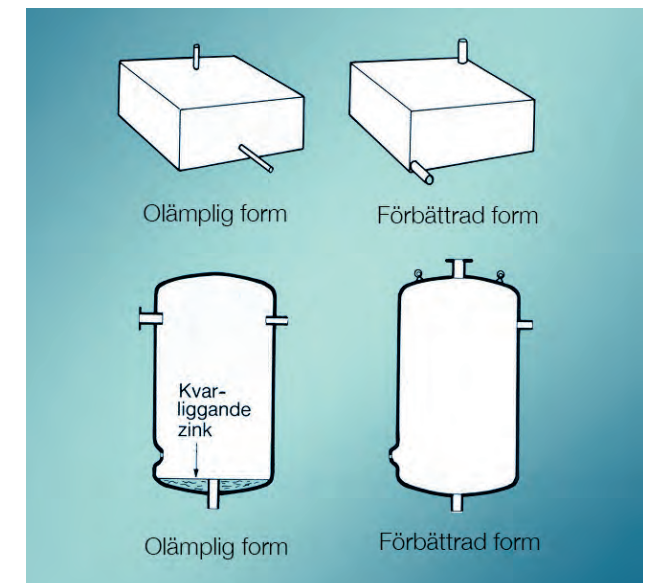


Bild 7-8. Inskjutande röranslutningar hindrar att behållare kan tömmas på förbehandlingsvätskor och flytande zink. Röranslutningar bör placeras nära hörn och diagonalt. På större behållare bör lyftöglor finnas för enklare hantering.

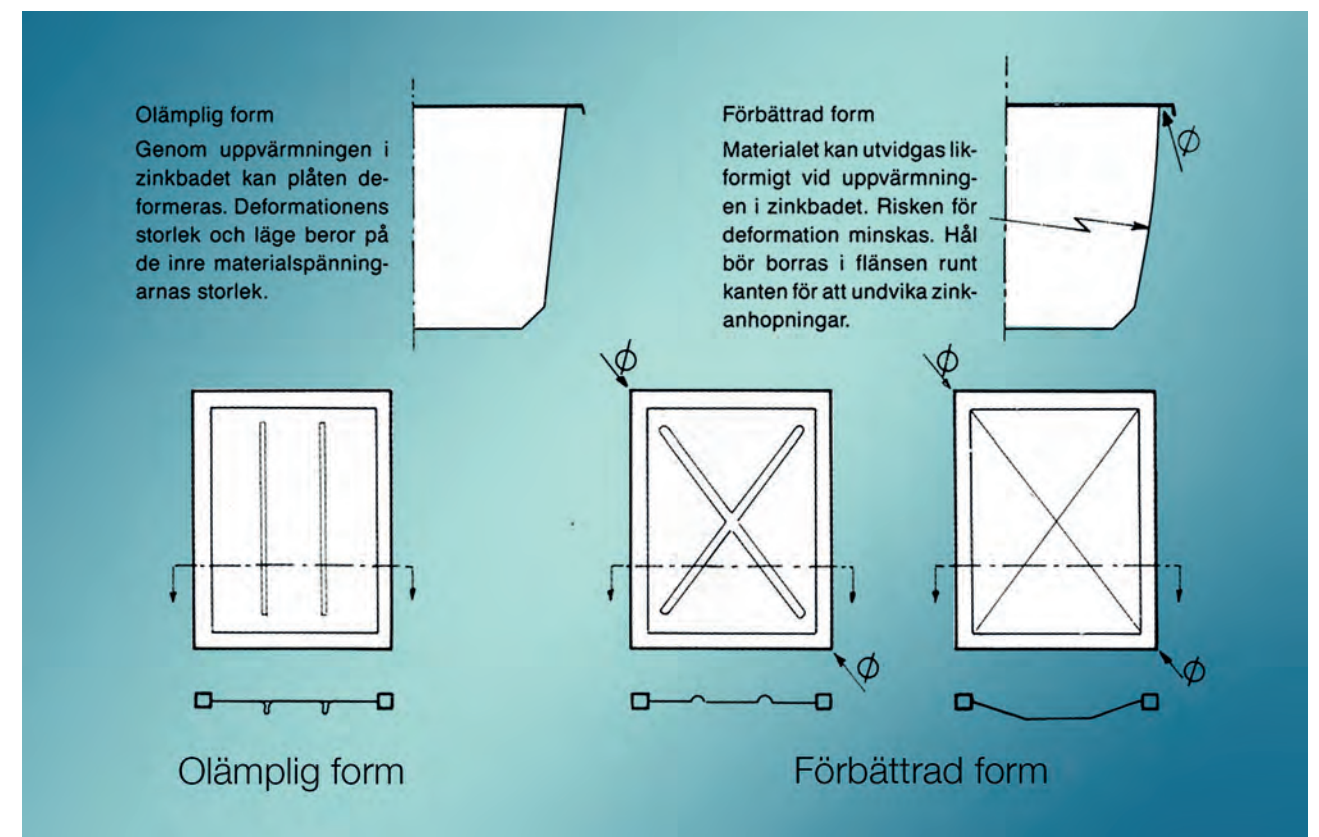


Bild 7-9. Exempel på förstävning av plåtytor för att minimera deformationer.

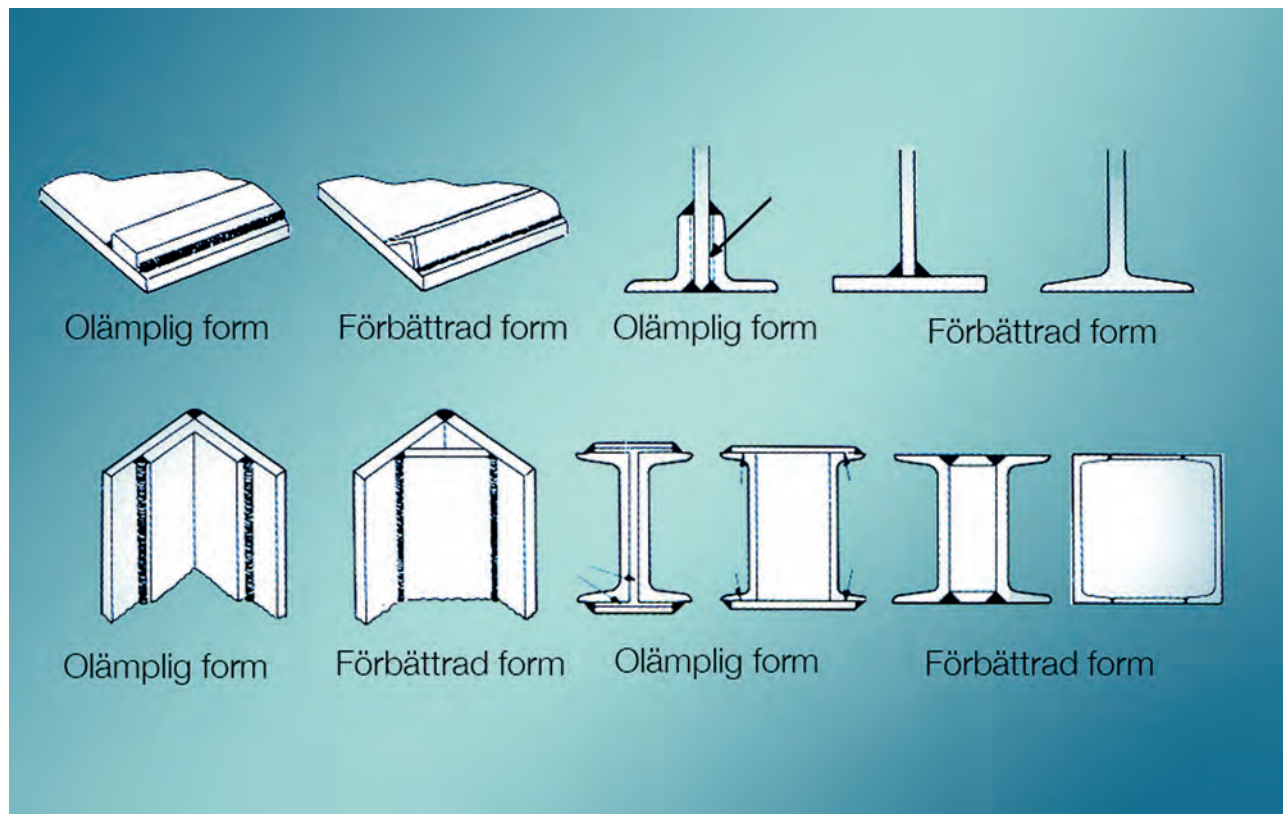


Bild 7-10. Exempel på utformning av konstruktioner för att undvika trånga spalter och syragömmor.

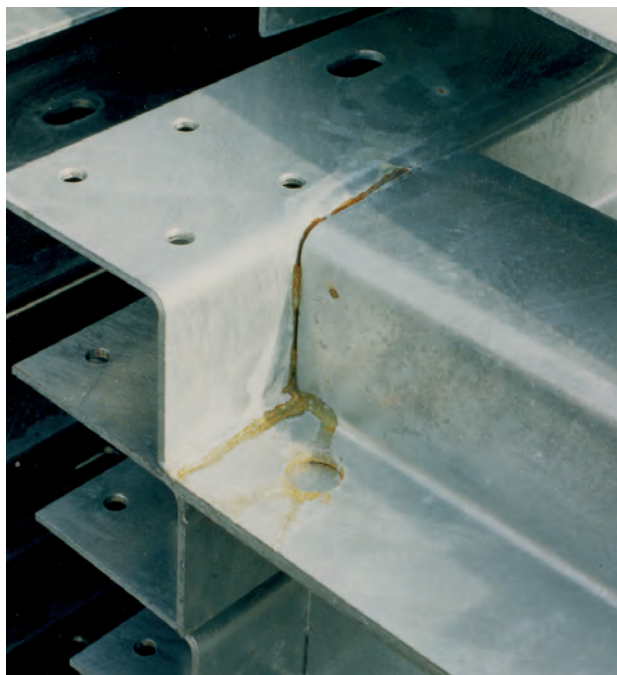


Bild 7-11. Syragömma där syran och järnsalterna frätt hål på zinksiktet med missfärgning som följd.

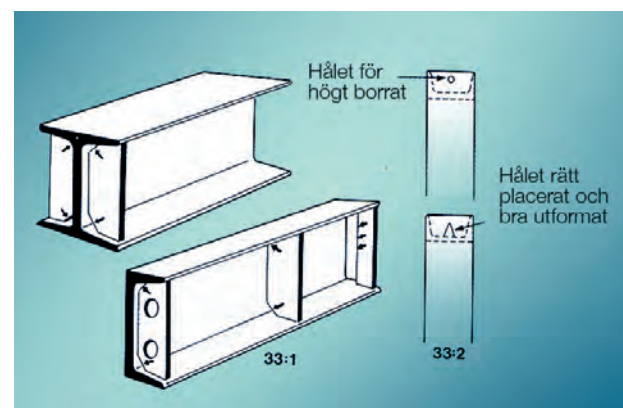
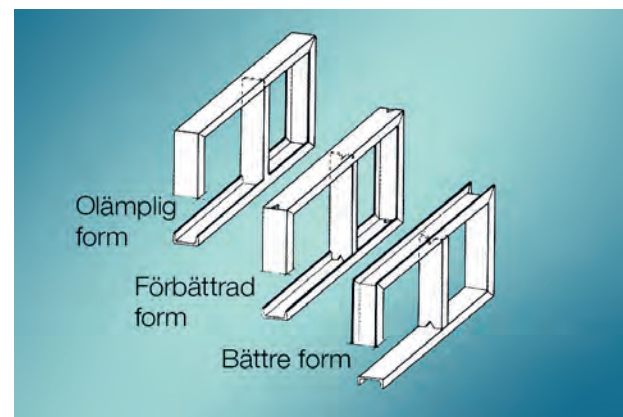


Bild 7-12. Förstyvningsbrickor i t ex balkliv bör klippas av så att en tvärgående spalt bildas eller klippas i hörnen så att avrinning kan ske. Tas avrinningshål upp skall de placeras så nära balklivet som möjligt. Diagonaler i fackverk bör inte gå emot ramstången.

7.2.7 Undvik fickor

Konstruktioner skall om möjligt utformas så att zinken kan rinna av från alla ytor vid upptagningen ur zinkbadet (bild 7-12). Beläggningen blir i annat fall ojämn.

7.2.8 Gängade föremål

Utvändiga skruvgångor måste skäras i undermått för att efter förzinkning passa i muttern. Lämplig reduktion av gängdiametern anges i standard. Observera att det är medeldiametern som bestämmer.

Invändiga gängor skärs eller rensas till nominellt mått efter varmförzinkning. Utvändiga gängor i sammansatta konstruktioner måste rensas efter förzinkning. Zinkbeläggningen på utvändiga gängor skyddar även stålet i invändiga gängor.

7.2.9 Märkning

Temporär märkning av gods som skall varmförzinkas skall utföras med vattenlöslig färg.

Permanent märkning kan utföras med stansning av bokstäver eller siffror på godset eller på detta fastsatta plåtbrickor. Stansningen bör ske till tillräckligt djup så att märkningen kan läsas även efter förzinkning.

7.2.10 Svetsning

Svetsar skall vara fria från porer då sådana kan verka som syragömmor.

Vid dubbelsidig kälsvets skall det svetsas över plåtändarna så att syra inte kan tränga in i den eventuella spalten (bild 7-13).

Svetsmetoder som inte ger någon slagg, som MIG-svetsning, är att föredra. Används belagda elektroder skall svetsarna slaggas av väl. Svetsslagg går inte att avlägsna genom normal betning och ger svarta obelagda fläckar vid varmförzinkning.

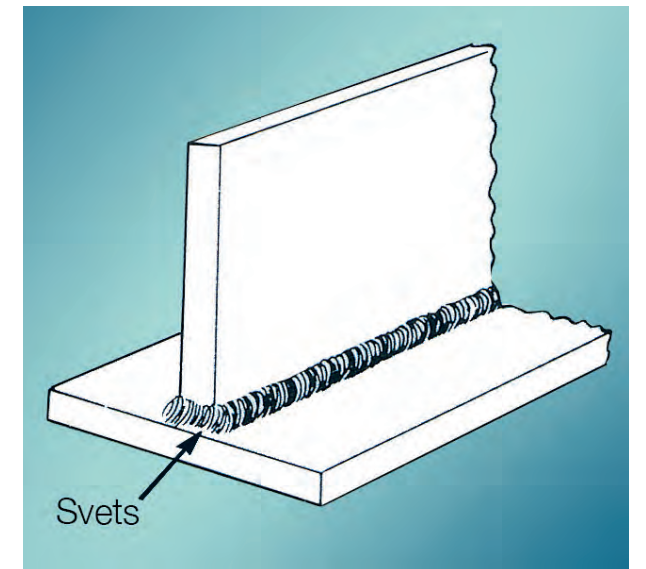


Bild 7-13. Änden på dubbelsidig kälsvets bör förseglas för att hindra syra att tränga in i eventuell spalt.

7.2.11 Övrigt

En förutsättning för ett gott resultat vid varmförzinkning är rena stålytor. Håll därför ytorna fria från färg, fett, olja och tjära. Sådana föroreningar kan inte avlägsnas i förbehandlingen och ger svarta obelagda fläckar vid förzinkningen.

Föroreningar av denna typ måste liksom svetsslagg tas bort med manuell avfettning, blästring eller slipning, vilket fördyrar behandlingen.

Föroreningarna kan ibland vara svåra att upptäcka och ger sig inte tillkänna förrän efter det att förzinkningen är utförd. Det kan då bli nödvändigt att göra om ytbehandlingen och den blir självklart mycket dyrare.

Termisk skärning ger ytor som påverkar varmförzinkningen. Zinksiktet kan bli för tunt och vidhäftningen dålig. Dessa ytor bör slipas eller blästras före förzinkning.

8. Standarder

Kvalitetskrav och provningsmetoder för varmförzinkat stål anges i den svenska och internationella standarden SS-EN ISO 1461, "Varmförzinkade beläggningar på tillverkade järn- och stålföremål – Specifikationer och provningsmetoder" Ytterligare information angående zink som korrosionsskydd finns i standarden ISO 14713 "Protection against corrosion of iron and steel in structures - Zinc coatings - Guidelines and recommendations: Part 1- General", samt "Part 2 - Hot Dip Galvanizing".

8.1 Allmänna fordringar

Zinksiktets utseende, tjocklek, struktur, fysikaliska samt kemiska egenskaper påverkas av godsets kemiska sammansättning, massa och av förhållandena vid förzinkningen. Fordringar på informationsutbyte mellan varmförzinkare och kund finns angivna i en serie bilagor till standarden. Normalt är lägsta kvalitetskrav beträffande skiktthjocklek och utseende det som anges i standarden SS-EN ISO 1461. För att ovanstående krav skall uppnås skall kunden ge varmförzinkaren uppgifter om stålqualität och önskad skiktthjocklekssklass enligt standarden.

8.2 Tjockare beläggning än standard

I vissa fall kan tjockare skikt än de som anges i standarden vara önskvärt, t ex i mer aggressiva miljöer eller då extra lång livslängd krävs. I bilaga NA till SS-EN

Gods-tjocklek i mm	Lokal skiktthjocklek i µm	Medel-skiktthjocklek i µm
Stål > 6 mm	70	85
Stål > 3 - ≤ 6 mm	55	70
Stål ≥ 1,5 - ≤ 3 mm	45	55
Stål < 1,5 mm	35	45
Gjutgods ≥ 6 mm	70	80
Gjutgods < 6 mm	60	70

Tabell 8-1. Skiktthjocklekar i µm enligt standarden SS-EN ISO 1461. För vissa aluminiumtätade stål kan dessa tjocklekar vara svåra att uppnå, se kapitel 5.8.1.

ISO 1461 finns information om hur tjockare beläggningar kan uppnås. I tabell 8-3 anges de riktvärden samt de gränsvärden för kisel som stålet bör innehålla för att de tjockare zinkskikten skall bildas.

8.3 Övriga standarder

I Sverige finns även branschstandarder för skiktthjockleksmätning, efterbearbetning samt vidhäftningsprovning av varmförzinkat gods. För gängade föremål finns specifika standarder. Tunnpålat varmförzinkas enligt SS-EN 10346.

Godstjocklek	Fe/Zn 115		Fe/Zn 165		Fe/Zn 215	
	Min lokalt värde	Min medel-värde	Min lokalt värde	Min medel-värde	Min lokalt värde	Min medel-värde
Stål > 6 mm	100	115	145	165	190	215
Stål > 3 - ≤ 6 mm	85	95	100	120	115	140
Stål ≥ 1 - ≤ 3	60	70	70	95		

Tabell 8-2. Högre skiktthjocklekar enligt nationell bilaga NA till standarden SS-EN ISO 1461. För att stålet skall vara tillräckligt reaktivt måste material med högre kiselhalt väljas, se tabell 8-3.

	Riktvärde (%)	Gränser (%)
Fe/Zn 115	0,18	0,15-0,21
Fe/Zn 165	0,25	0,22-0,28
Fe/Zn 215	0,32	0,29-0,35

Tabell 8-3. Kiselhalter som krävs för att uppnå de skiktthjocklekar som anges i tabell 8-2.

9. Kvalitet – kontroll, provning och åtgärder

Normalt är lägsta kvalitetskravet beträffande skiktthjocklek och utseende det som anges i standarden SS-EN ISO 1461. För att ovanstående krav skall kunna innehållas måste kunden ge varmförzinkaren uppgifter om stålqualität och önskad skiktthjocklekssklass enligt standard (se kapitel 8). Kunden skall också genom varmförzinkarens försorg göras uppmärksam på konstruktionsutformningen för att få bästa möjliga varmförzinkningsresultat.

9.1. Branschstandarder

Nordic Galvanizers har i samarbete med varmförzinkarna utarbetat branschstandarder för:

- Skiktthjockleksskontroll
- Efterbearbetning
- Vidhäftningskontroll

I branschstandarden "Skiktthjockleksskontroll" finns anvisningar för hur lokal- och medelskiktthjocklekar skall mätas. Särskilt mätning av lokal skiktthjocklek utförs ofta fel, då man tror att en enstaka mätning utgör det lokala värdet. I stället skall ett begränsat provningsområde definieras där tre eller fem mätningar utförs. Medelvärdet av dessa enstaka mätningar utgör det lokala skiktthjockleksvärdet. Medelvärdet av tre eller fem provningsområden utgör sedan medelskiktthjockleken.

I branschstandarden "Efterbearbetning" anges tre olika bearbetningsklasser, som kan väljas beroende på önskad kvalitetsnivå. Här anges även hur stor en obelagd yta får vara samt hur den kan åtgärdas, t.ex. genom målning med zinkrik färg eller genom beläggning med zinklöd.

I branschstandarden "Vidhäftningskontroll" finns information om hur vidhäftningskontroll skall utföras och vad som kan förväntas på olika zinktytor. Kraven är något olika beroende på om ytan består av renzink eller järn-zinkfas. Vid provningen får en v-eggad stans träffa zinkytan med en viss fjäderkraft.Branschstandarderna finns tillgängliga via www.nordicgalvanizers.com.

Ovanstående standarder liksom kvalitetssäkringen ligger till grund för den kontroll och provning som utförs hos varmförzinkaren.



Bild 9-1. Mätning av skiktthjocklek.

9.2 Tjocklek

För styckvis varmförzinkade föremål används oftast mätning med magnetiska metoder enligt gällande standard. De är snabba och lätta att utföra och stör inte heller föremålet eller dess ytbehandling. Bild 9-1 visar ett sådant instrument i arbete.

Vid tvist används mikroskopmetoden, se aktuell standard.

9.3 Utseende

Normalt skall den varmförzinkade ytan vara fri från synliga fel såsom blåsor, taggar, zinkaska, flussmedelsrester och obelagda områden. Klumpar, droppar och tjocka rinningar tillåts inte där de kan inverka på det varmförzinkade föremålets användning. Det belagda föremålet skall vara rent och fritt från skador.

Eftersom ytans utseende är beroende av kundens val av kiselhalt i stålet kan ytan bestå av mörkare, grå områden, cellformiga mönster av gråa linjer mellan ljusare områden eller blanka, silverfärgade områden.

Då utseendet är beroende av både kundens och varmförzinkarens hantering uppstår ibland avvikelser vid varmförzinkningen. Det är viktigt att kunden och varmförzinkaren är överens om funktionskraven. Har beställaren särskilda krav på beläggningens jämnhet och utseende skall detta vara diskuterat redan på offertstadiet. Genom att använda branschstandarderna "Efterbearbetning" kan kraven ställas redan från början.

9.4 Vidhäftning

Det som vanligen avses med en beläggnings vidhäftning är dess förmåga att tåla mekanisk påverkan, t ex bockning, vridning eller slag. Dessa egenskaper har betydelse för plåt och tråd medan kraven är mindre på styckvis varmförzinkade föremål.

Zinkskiktets uppbyggnad medför att vissa beläggningar tål mer mekanisk påverkan än andra. Tidigare har det inte funnits någon bra metod att mäta vidhäftning med, men numera finns en metod som tar hänsyn till zinkskiktets uppbyggnad.

Utförande och krav finns beskrivna i branschstandarden "Vidhäftningskontroll".

9.5 Åtgärder vid avvikelser

Beroende på eventuell avvikelse vid varmförzinkning måste åtgärder sättas in. Vid obelagda ytor över 0,5 % skall enligt standarden omförzinkning ske om inte annat har överenskommit med beställaren.

Vid bedömning av zinkskiktets jämnhet bör man ha klart för sig att varmförzinkning innebär doppling i metallsmälta. Den smälta metallen måste sedan rinna av från ytorna under upptagningen. Föremålets olika delar får också längre eller kortare tid i zinkbadet, vilket yttrar sig i varierande värden på zinkskiktets tjocklek.

Vitrost, korrosion hos zinkytan, utgör inte reklamationorsorsak, eftersom denna ofta orsakas av hanteringen sedan godset lämnat varmförzinkningsanläggningen. Vitrost behöver i regel inte åtgärdas då den försvinner vid exponering utomhus.

Mindre avvikelser, som inte är till men för funktionen eller allvarligt stör utseendet, skall inte åtgärdas. Filning eller slipning på zinkskiktet gör ofta mer skada än nytta.

Vid svetsning av förzinkat stål blir naturligtvis själva svetssträngen obelagd. På bägge sidor av strängen förångas dessutom en del av beläggningen.

9.6 Åtgärder vid skador – lagning

Skulle skador som kan åtgärdas uppkomma, skall lagning ske med omsorg så att korrosionsskyddet blir så bra som möjligt. För att få ett sådant korrosionsskydd är rengöringen av skadeytan av största betydelse.

Vid t.ex. flagning brukar oftast gamma- och deltalagret finnas kvar på stålytan med ett zinkskikt på 5-10 µm. Då behövs endast en lättare stålborstning med rostfri borste för att få bort eventuella korrosionsprodukter. Därefter målas skadestället med zinkrik färg. Observera att sprayning ger begränsad skiktjocklek och därför måste upprepas ett antal gånger. Målning

med pensel ger tjockare skikt. Mätning skall göras för att säkerställa att färgskiktet uppgår till minst 100 µm om inte kunden/beställaren angivit annat, vilket t ex kan vara fallet om godset skall målas efter förzinkning. Under sådana omständigheter vill man ha så lika tjocklek som möjligt hos zinkskikt och åtgärdat område, då tjockleksvariationer annars kan vara synliga efter målning. Vid genomslipning åtgärdas skadan på samma sätt.

Bedöms skadeytan svår att få ren bör slipning eller blästring utföras.

Vid rengöringen måste löst sittande zink i övergången mellan det intakta zinklagret och skadan avlägsnas. I annat fall "reser sig" denna zink vid lagning, framför allt om lagningen görs med sprutförzinkning.

Upptäcks skador direkt i anslutning till zinkbadet, då godset är varmt, är zinklödning en bra lagningsmetod. Svarta fläckar kan åtgärdas med slipning och zinklödning.

Vid duplexbehandling är det synnerligen viktigt att lagningen sker professionellt. Övergångarna mellan skadeställe och felfri zinkyta bör vara slät och jämn då "kanteffekter" förstärks vid efterföljande målning.

Lagning av svetsytor bör göras så snabbt som möjligt, innan de rostar. Lämplig åtgärd är att rengöra ytan med rostfri stålborste och måla med zinkrik färg. Bildas rödrost på ytan skall rengöring ske med slipning eller blästring före målning. För vidare upplysningar, se branschstandarden "Efterbearbetning".

9.7 Approved Galvanizer - för byggprodukter

Genom att välja en Approved Galvanizer säkerställs att kvaliteten och systematiken vid varmförzinkningen är på rätt nivå för bärverksdelar som ska CE-märkas av konstruktionstillverkaren. Företag med rätt att få kalla sig Approved Galvanizer har genomgått en certifiering som är anpassad för varmförzinkningsbranschen, och har bl a visat att man följer standarderna:

EN ISO 1461
EN ISO 14713-2
EN 1090-2 (relevanta delar)



Approved Galvanizer har tagits fram av Nordic Galvanizers tillsammans med kundrepresentanter och branschorganisationen MVR samt certifieringsorganet Nordcert, för att göra det enkelt och tryggt för tillverkare av stålkonstruktioner att välja varmförzinkning som korrosionsskydd.

10. Zinkbeläggningskorrosion

Stål är vår tids mest använda material. Tyvärr har stål en stor nackdel och det är dess höga korrosionshastighet. Att skydda detaljer och konstruktioner av stål har därför ett stort värde.

Det bästa korrosionsskyddet erhålls med zink. Zinkbeläggningar skyddar stål på två sätt:

- Genom barriärverkan, dvs hindrar syre och fukt att tränga fram till stålytan.
- Genom att ge katodiskt skydd i repor, slagmärken, klippkanter osv.

Zink är en oädel metall med stor korrosionsbenägenhet. Att korrosionshastigheten ändå är låg i de flesta miljöer beror på att zinkens yta snabbt blir täckt med korrosionsprodukter, som sedan skyddar mot vidare korrosion.

10.1 Korrosion i atmosfären

När ett varmförzinkat föremål lämnar zinkbadet angränsar ytan genast av luftens syre och zinkoxid bildas. Processen fortskrider med hjälp av luftens vatten- och koldioxidinnehåll varvid basiska zinkkarbonater skapas. Dessa ger ett tätt skikt med utmärkt vidhäftning. Då karbonaterna dessutom har mycket låg löslighet i vatten utgör de ett gott skydd för den förzinkade ytan (15). Men luften innehåller också svaveldioxid, som omvandlar det basiska zinkkarbonatet till mer lösligt zinksulfit och zinksulfat. Luftens halt av svaveldioxid har dock minskat kraftigt de senaste åren (bild 1-1), och därmed också zinkens korrosion.

Atmosfärens halt av svaveldioxid påverkar således korrosionshastigheten. I industriatmosfär är därför korrosionen högre än i stads- och landsbygdsmiljö. Av betydelse i alla miljöer är exponeringsvinkeln. Korrosionen är högre på en horisontell yta än på en vertikal yta. Ytor som befinner sig i lä korroderar mindre än oskyddade ytor.

Zinkskikt som exponeras några månader i atmosfären får en matt, ljusgrå kulör (bild 10-1). I havsmiljö påverkas zinkens korrosion av luftens salthalt. I den marina luften finns dock små halter av magnesiumsalter med god passiverande verkan. Korrosionen är därför inte så stor som man befarat. Salthalten avtar också snabbt in mot land.



Bild 10-1. Exponerad yta av en zinkbeläggning med ett yttre skikt av ren zink. Den blanka ytan försvinner och ersätts av grå korrosionsprodukter – ibland kallat zinkpatina.

Zinkens korrosion påverkas alltså av många faktorer. Det går därför inte att ge en allmängiltig formel för korrosionshastigheten. Zinkbeläggningar har emellertid använts under lång tid och under de mest skiftande förhållanden för att skydda stål mot rost. Kunskapen om zinkens korrosion och korrosionshastighet i olika miljöer är därför god. Vi har idag exempel på zinkbeläggningar som exponerats i över hundra år.

10.1.1 Rödbrun missfärgning

Kiselätade stål som har stor andel järn-zinkfas i zinkskiktet kan efter en tids exponering få en rödbrun färgton som djupnar med tiden. Järn-zinkfasen korroderar, varvid järn frigörs, som tillsammans med fukt från luften eller regnvatten bildar rost. Rosten har stor färggivande förmåga och även små mängder kan ge avsevärda missfärgningar (bild 10-2).

En kraftig missfärgning kan lätt uppfattas som att rostskyddet är nedsatt eller helt slut. Detta är dock sällan fallet. Järnzink-legeringen skyddar stålet bättre än ren zink - upp till 30 % förbättring har noterats (16). Den missfärgade ytan kan, om så krävs av utseendeskäl, med fördel målas. En missfärgad lyktstolpe som exponerats i 30 år hade vid undersökning ca 70 mikrometer zinkskikt kvar - tillräckligt för ytterligare ca 50 års livslängd.



Bild 10-2. Rödbrun missfärgning.

10.2 Korrosion i vätskor

Liksom vid korrosion i luft överdras zinkytan vid ned-sänkning i en vätska i allmänhet med ett skyddande skikt av korrosionsprodukter. Vätskor kan vara sura eller alkaliska och innehålla lösta eller fasta aggressiva ämnen. Vätskans strömningshastighet och temperatur har också stor betydelse. Tillsammans medför dessa faktorer att skyddsskiktet kan få en högst varierande sammansättning eller t.o.m. inte bildas alls. Den elektrokemiska korrosionen, som i luft spelar en underordnad roll, har stor betydelse i vätskor. Beroende på vätskans elektriska ledningsförmåga sker den elektrokemiska korrosionen, och därmed också zinksiktets skyddsverkan, över större eller mindre områden.

Största betydelse har vätskans pH-värde. Zinkens korrosionshastighet är normalt relativt låg och stabil i pH-området 5,5-12,5 vid temperaturer mellan 0 och 20 °C.

Hårda vatten, som innehåller kalk och magnesium, är föga aggressiva. Dessa ämnen bildar tillsammans med kolsyra svårslösliga karbonater på zinkytan och ger stabila skyddsskikt, som hindrar vidare korrosion.

Mjuka vatten angriper ofta zink eftersom salter saknas och skyddsskiktet inte kan bildas. I mindre vanliga fall kan det också ske en polaritetsväxling mellan zink och stål så att stål blir anod (lösningsspol) i elementet. Risk för punktkorrosion finns i sådana fall. Polaritets-

växlingen motverkas av kolsyra, sulfater och klorider och sker därför inte i t ex havsvatten, men kan däremot förekomma i mycket rena vatten.

Aggressiva mjuka vatten finns i vissa vattendrag och sjöar i Finland, Norge och Sverige.

Har vattnet högre strömningshastighet än 0,5 m/s hindras bildningen av skyddsskikt på zinkytan och korrosionen blir snabbare.

I vatten har temperaturen stor betydelse för korrosionshastigheten. Över ca 55 °C får de skiktbildande korrosionsprodukterna en grovkornig struktur och förlorar vidhäftningen till zinkytan. De faller lätt av och blottlägger ny, frisk zink för fortsatt angrepp.

Korrosionshastigheten når ett maximum vid ca 70 °C, för att sedan sjunka så att den vid 100 °C är av samma storleksordning som vid 50 °C.

Som framgår är korrosionsförloppet i vatten mycket komplext och allmängiltiga regler är svåra att ge. Praktiska erfarenheter finns och bild 10-3 ger riktvärden för några olika typer av vatten. För ytterligare information se referenser (17, 18, 19, 20).

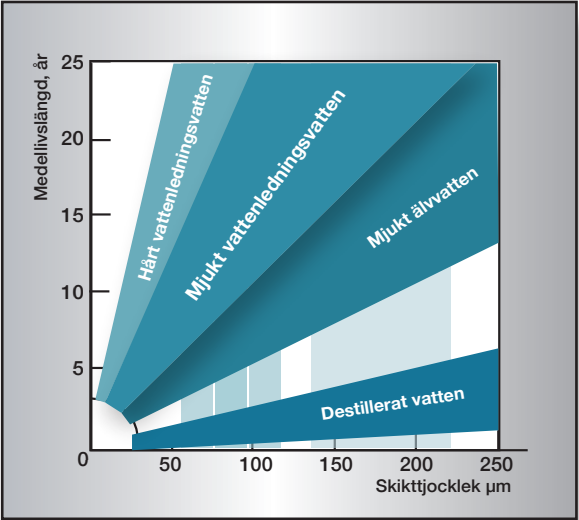
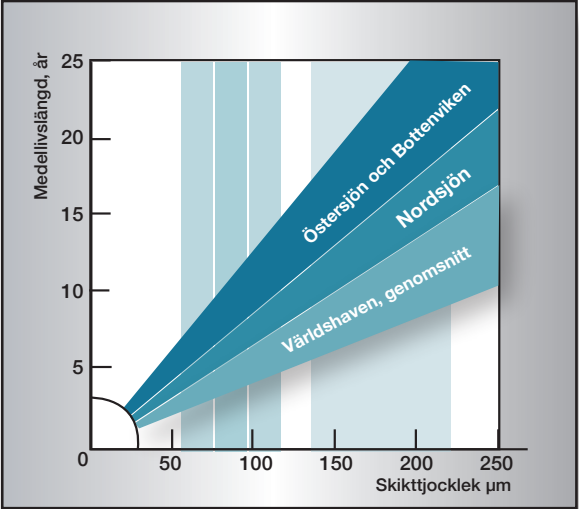


Bild 10-3. Medellivslängd för olika tjocka zinksikt i skilda vatten.



10.2 Vitrost

Ibland uppträder en vit, mjölig och voluminös beläggning kallad vitrost eller vitblemma på förzinkade ytor (bild 10-4). Vitrost uppträder om förzinkat gods utsätts för kondens eller regnvatten som blir liggande kvar på godsytan. Detta kan inträffa där spalter bildas, t ex mellan hoplagda godsitor eller mellan tätt packade plåtar. Godsitor, som har god luftväxling och byggt upp ett normalt skyddsskikt av korrosionsprodukter, angrips sällan. Angreppet upphör således när fri tillgång till luft finns. Kvarvarande vitrost nöts så småningom bort av väder och vind. Zinkytan får åter ett för varmförzinkning normalt utseende.

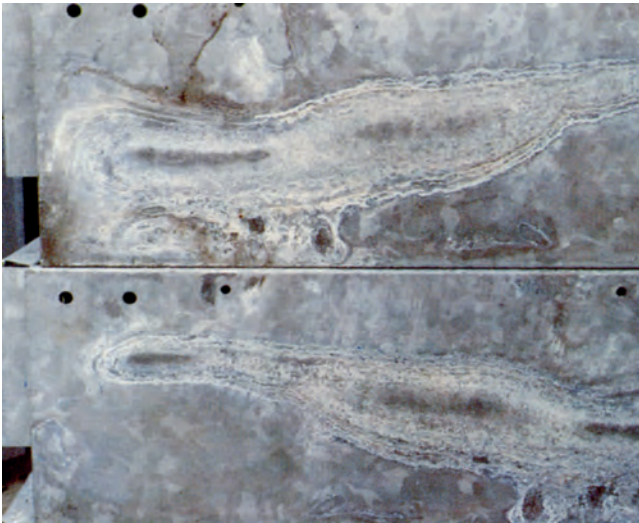


Bild 10-4. Vitrost som bildats mellan tätt hoplagt material.

Då vitrost har mycket stor volym, ca 500 gånger större än den zink från vilken den bildas, kan ett angrepp förefalla allvarligt. Oftast har emellertid angrepp av vitblemma liten eller ingen betydelse för korrosions-skyddets livslängd. Vid mycket tunna beläggningar, som på elförzinkade föremål, kan dock ett kraftigt angrepp vara skadligt.

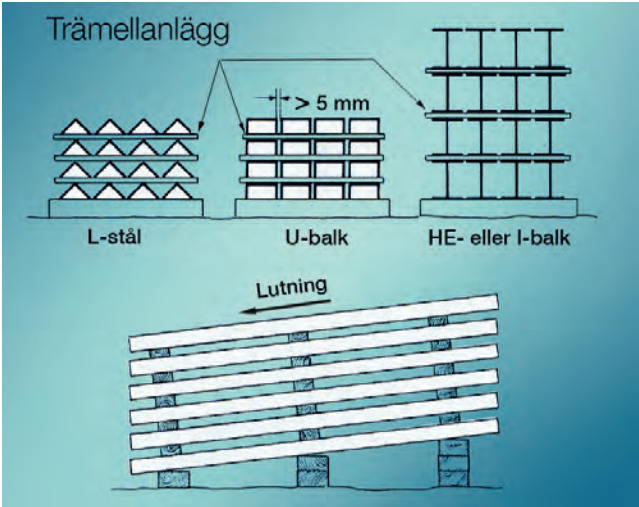


Bild 10-5. Vitrost undviks genom att packa godset med mellanlägg så att luftväxling sker samt att luta godset så att vattensamlingar inte uppstår.

Vitrost undviks bäst genom att nyförzinkade ytor hindras att komma i kontakt med kondens eller regnvatten under lagring och transport. Genom att lagra godset under tak några dagar, eller att lägga upp det så att vattnet rinner av och det finns luftväxling från alla sidor, undviks problemet (bild 10-5).

Redan bildad vitrost kan avlägsnas med måttfull mekanisk eller kemisk behandling. I varmförzinknings-standardens godtas ej vitrost som orsak till reklamation.

10.3 Korrosion i jord

Korrosionsförhållandena i jord är mycket komplicerade och variationerna kan vara mycket stora mellan olika platser, även helt nära intill varandra. Svenska jordar är i allmänhet inte särskilt aggressiva (bild 10-6). Medelavfrätningen för zink brukar anges till 5 µm per år. Svårt aggressiva jordar är sällsynta. I Norr- och Västerbotten finns svavelhaltiga jordar där zinkkorrosionen är mycket hög.

En metod att bestämma jordens korrosivitet är att mäta dess resistivitet (bild 10-7). Kan jordresistiviteten inte bestämmas kan tumreglerna i bild 10-6 ge en viss vägledning. Vid all exponering av metaller i jord är det dock tillrådligt att rådfråga sakkunnigt folk.

Jordart	Aggressivitet
Kalk, kalkmärgel, morän, sandmärgel	Liten
Sand, grus	Måttlig
Lera, torv, myrmark, humusrika jordar	Stor

Bild 10-6. Olika jordarters korrosivitet.

10.4 Galvanisk korrosion

Om två olika metaller, helt eller delvis omgivna av en elektrolyt, kopplas samman uppstår en galvanisk cell. Vilken av metallerna som blir anod eller katod bestäms av deras elektropotential i ifrågavarande elektrolyt. I havsvatten, som motsvarar de flesta praktiska förhållanden, intar några olika metaller och legeringar platser enligt bild 10-10 i den galvaniska spänningsserien.

Om stål kopplas ihop med koppar eller mässing blir stålet anod och korroderar. Kopplas däremot stål ihop med zink, kadmium eller magnesium blir stålet katod och skyddas mot korrosion medan anodmetallen förbrukas (bild 10-8).

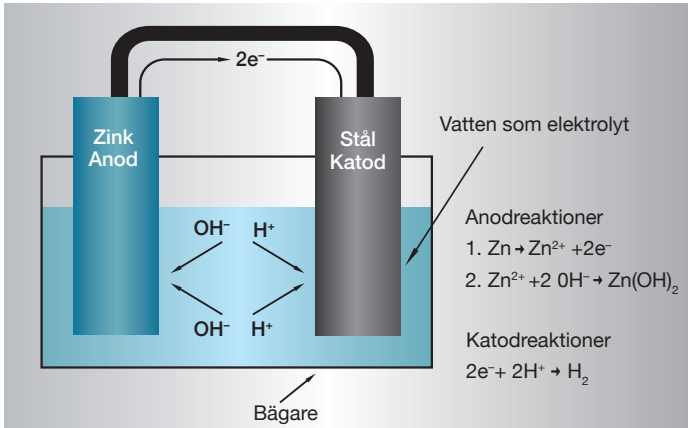


Bild 10-8. Galvanisk korrosion av zink i kontakt med stål i vatten.

Galvanisk korrosion kallas också bimetallkorrosion och används för att skydda konstruktioner i vatten mot korrosion under benämningen katodiskt skydd.



Bild 10-10. Galvaniska spänningsserien i havsvatten vid 25 °C.

Nr	Aggressivitet	Jordtillstånd	Resistivitet i ohm	Skyddsmetod
1	Liten	Torr	> 100	Varmförzinkning > 200 µm
2	Liten	Fuktig	> 450	Varmförzinkning > 200 µm
3	Måttlig	Torr	< 100	Varmförzinkning > 200 µm samt en rostmån på grundmaterialet om 0,5 mm på varje sida.
4	Måttlig	Fuktig	150 - 450	Varmförzinkning > 200 µm samt en rostmån på grundmaterialet om 0,5 mm på varje sida.
5	Stor	Fuktig	50 - 150	Varmförzinkning > 200 µm samt en rostmån på grundmaterialet om 1 mm på varje sida.
6	Mycket stor	Fuktig eller om svavelsyra kan bildas	< 50 - 100	Varmförzinkning > 200 µm samt en rostmån på grundmaterialet om 1,5 mm på varje sida.

Bild 10-7. Jordaggressivitet vid olika jordresistivitet samt förslag på lämpligt korrosionsskydd.

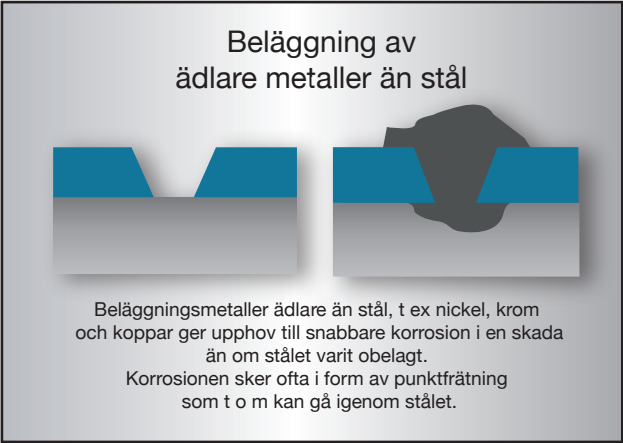
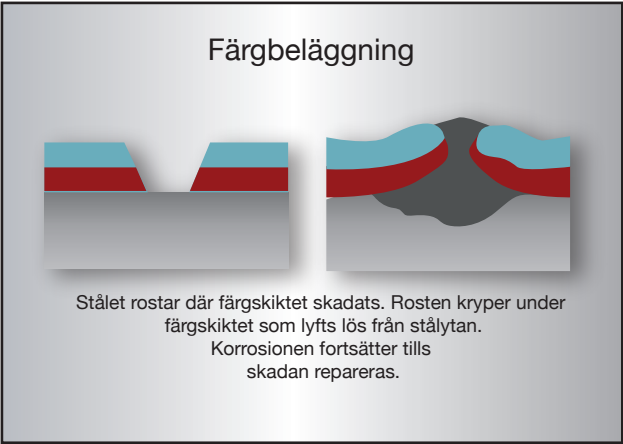
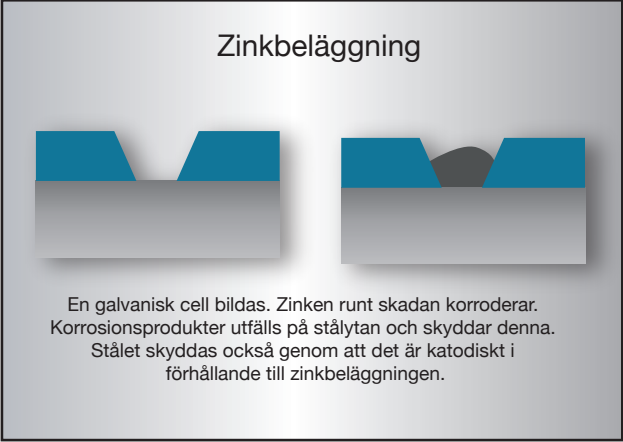


Bild 10-9. Schematisk bild av skadeverkan i olika typer av rostskyddsbeläggningar.

10.4.1 Zinkbeläggningars katodiska skydd

I varmförzinkat stål står zink och stål i god elektrisk kontakt med varandra. Skadas zinkbeläggningen uppstår i närvaro av fukt (elektrolyt) en galvanisk cell. I cellen blir zinken anod (upplösningspol) och korroderar medan frilagda stålet blir katod och skyddas. I initialskedet kan man se en svag rostbildning på den frilagda stålytan. Allt eftersom zinken korroderar fälls svårösliga zinkföreningar ut på skadan och skyddar stålet mot fortsatt angrepp (bild 10-11).

Detta kallas ofta "själmäkning", men det är en oegentlig benämning eftersom zinksiktet inte återställs. Tack vare det katodiska skydd som zinken ger kan inte rost krypa in under beläggningen vid skador på samma sätt som under färgbeläggning eller under beläggningar av ädlare metaller (bild 10-9).

Zinkbeläggningar på stål är således unika i det avseendet att en måttligt stor skada i beläggningen inte medför en katastrofal försämring av korrosionsskyddet.



Bild 10-11. Ett 6 mm brett spår har frästs genom ett 60 µm tjockt zinksikt ned till stålytan. Provet har sedan exponerats i 5 år i svår industri-marin miljö i Nederländerna. Notera beläggningen av zinksalter i spåret samt den totala frånvaron av rostgenomslag.

10.4.2 Galvanisk korrosion hos förzinkat stål i kontakt med ingjuten armering

Om varmförzinkat stål kommer i kontakt med armeringsstål ingjutet i betong, och en elektrolyt finns närvarande i anslutning till det varmförzinkade stålet, kan en galvanisk korrosionscell bildas. Detta problem har uppmärksamats både i vägmiljöer, där varmförzinkade stolpar kommit i kontakt med broarmering, och i djurstallar, där kontakt skapats för att potential-utjämna byggnaden.

Då vanligt armeringsjärn av kolstål gjuts in i betong blir det passiverat (ädel), vilket innebär att det får en korrosionspotential motsvarande rostfritt stål. Om stallinredningen, som vanligtvis är varmförzinkad, förbinds med den ingjutna armeringen ger detta upphov till en galvanisk cell, där mycket snabba korrosionsförlopp hos zinken har noterats i vissa fall.

När zinken korroderat bort fortsätter angreppet på det underliggande stålet, vilket medför att stolpar och lister med tiden kan korrodera sönder. Anledningen är att stålet i inredningen har en korrosionspotential som är betydligt mer negativ (oädel) i vätska, gödsel eller fuktig ströbädd, jämfört med korrosionspotentialen för ingjutet stål, som passiverats. Trots att det handlar om samma typ av stål medför de olika miljöerna som materialet används i, att det ingjutna stålet blir katod och det fuktexponerade anod i den galvaniska cellen.

Vid galvanisk korrosion spelar också storleken på katoden (ädlare metall) och anoden (oädlare metall) en viktig roll. I det här fallet har armeringsmattan

(katoden) en stor volym i förhållande till det varmförzinkade stålet, vars anodyta endast består av det/de lokala mindre områden där elektrolyten står i kontakt med metallen. Detta ogynnsamma storleksförhållande bidrar ytterligare till det accelererade korrosionsförloppet.

Korrosionsangreppen påträffas t ex på inredningsdetaljer i djurboxarnas nedre delar, som utsätts för urin och gödsel, eller i anslutning till djurens vattenkoppar. Hur snabbt korrosionsförloppet går beror på en rad olika faktorer. Relationen mellan torr- och våttid för de utsatta ytorna, typ av ströbädd, djurens beteende, uppställningssystem (spilta/box/lösdrift) påverkar korrosionsförloppet. Generellt kan sägas att bäddmaterial med stor uppsugningsförmåga vanligtvis ger en torrare miljö och minskar risken för accelererade korrosionsförlopp.

I vägmiljöer sker den galvaniska korrosionen i stolparnas nederkant, där elektrolyt i form av regnvatten, snöslask och vägsalt förekommer.

För att avbryta korrosionen måste antingen kontakten mellan det varmförzinkade stålet och den ingjutna armeringen, eller kontakten mellan det varmförzinkade stålet och elektrolyten, brytas. Det sistnämnda kan t ex ske genom konstruktionsförändringar eller isolering med färg eller annat material, som läggs på det varmförzinkade stålet i de utsatta områdena.

10.4.3 Zinkbeläggningar i kontakt med andra metaller än stål

Som framgår av bild 10-10 är zink oädlare än de flesta bruksmetaller, vilket betyder att zink skyddar dessa mot korrosion. I princip bör man dock undvika sådana sammankopplingar och ett bra sätt är att använda icke ledande mellanlägg av plast eller gummi.

I luft eller någorlunda torra miljöer kan ofta aluminium och rostfria stål direkt sammanbindas med förzinkat material utan att märkbar korrosion uppstår (se bild 10-12). Försiktighet bör dock iaktas så att katodytan inte blir för stor i förhållande till anodytan. I vatten skall alltid isolerande mellanlägg användas.

Koppar och kopparlegeringar är mer elektriskt aktiva och dessutom förekommer det att kopparjoner löses ut, vilket ger ett icke försumbart angrepp. "Färgade" metaller skall därför aldrig tillåtas stå i kontakt med förzinkat stål utan mellanlägg (bild 10-13).

10.5 Varmförzinkat stål i kontakt med byggnadsmaterial

Armerad betong är ett betydande material i dagens konstruktioner. Motorvägsbroar, parkeringshus, kontorsbyggnader, tunnlar m.m. är alla konstruerade för att nyttja fördelarna med armerad betong. I många fall

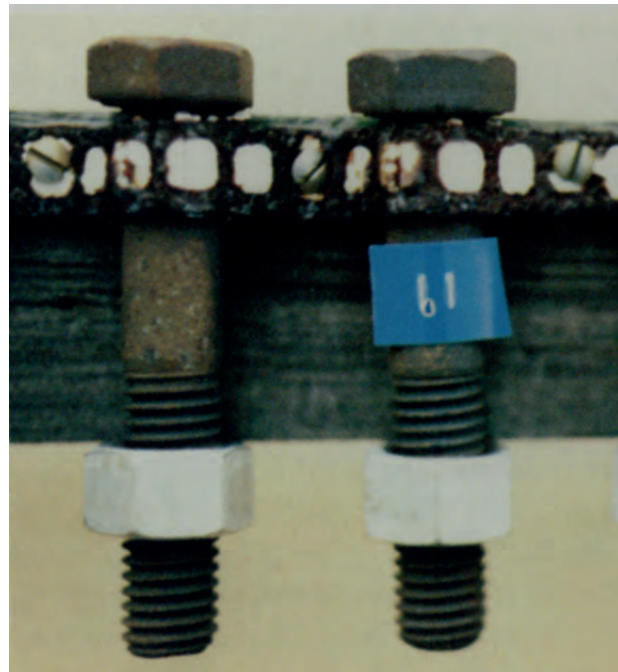


Bild 10-12. Varmförzinkad skruv med syrafasta muttrar efter 15 års exponering i marin miljö. Obetydlig galvanisk korrosion.



Bild 10-13. Mässingskrav i varmförzinkat stål ger angrepp på zinken.

behöver inte armeringen något extra korrosionsskydd för att undgå rostangrepp. Den högre alkaliska miljön i betong ger en tunn oxidfilm på stålet, som "passiverar" eller skyddar stålet mot vidare korrosion.

Emellertid händer det ofta att denna "passivering" inte fungerar tillräckligt bra för att skydda armeringen under längre tider.

Detta förekommer till exempel då:

- betongen har sprickor, klyvningar, sandfickor eller tunt täcksikt.
- neutralisering av alkaliteten har skett.
- kloridinträngning föreligger (saltning eller marin atmosfär).

Framför allt gäller detta "ytarmeringen". Skador på armerad betong har ökat, bland annat på grund av ökad saltning och luftföroreningar. Skador på olika betongkonstruktioner är mer förekommande än vad man tidigare trott (bild 10-14). När korrosionen väl inträffar hos armeringen är den mycket svår och kostsam att åtgärda. Behovet av att skydda armeringen från korrosion blir mer och mer nödvändigt för vissa applikationer.

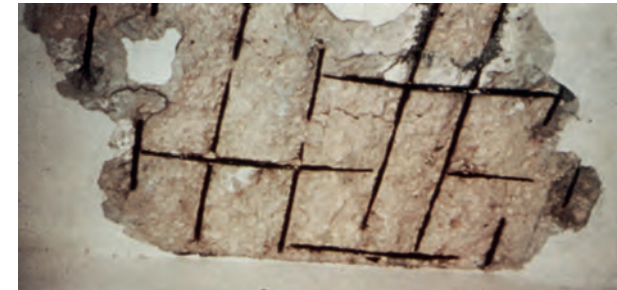


Bild 10-14. Avspjälkning av täcksikt över armeringsstålen på grund av armeringsstålens korrosion.



Bild 10-15. Varmförzinkad armering i bro.

10.5.1 Varmförzinkad armering

Varmförzinkningens möjlighet att skydda armering från korrosion bekräftas genom praktisk användning i många länder. Många smäckra byggnadskonstruktioner har varmförzinkad armering just för att undvika sprängningar med kostsamt underhåll som följd. Den säkerhetsrisk som nedfallande betong kan utgöra, framför allt i tätbebyggda områden, bör också påpekas.

Av någon anledning får varmförzinkaren ofta order om att inte lägga zink på den del, som skall gjutas in i betong. Förutom att denna åtgärd är helt onödig är kostnaden ofta högre för delvarmförzinkning än för normal behandling. En orsak kan vara att det sedan tidigare funnits en uppfattning om att vidhäftningen mellan den varmförzinkade ytan och betongen skulle vara dålig. Noggrann provning har dock visat att vidhäftningen mellan zink och betong i de flesta fall är så bra att slaggan får tas fram för att skilja dem åt (21). Sedan länge har zink använts som offeranod för att

skydda båtskrov, kajanläggningar, cisterner mm mot korrosion. Av tillgängliga metalliska skikt har varmförzinkade beläggningar visat sig vara de mest livskraftiga och tekniskt lämpliga. Varmförzinkning av armeringsstål som används i betong har brukats i många år över hela världen. Även vid mycket svåra förhållanden har denna ytbehandling visat sig vara pålitlig.

Detaljerade undersökningar, bl. a i Australien och på forskningsinstitutet RISE KIMAB i Stockholm (21), har visat följande:

- Förhöjd korrosion i nygjuten betong sker endast under maximalt 36 timmar efter ingjutningen. Därefter har zinksiktet passiverats. Zinkförlusten är låg (2-5 µm).
- Zinken ger ett katodiskt skydd på exponerat stål, vilket är en fördel vid avklippning, svetsning eller mekanisk åverkan på armeringen.
- Vidhäftningen mellan armeringsstålet och betongen är god.
- Betongsprängning sker inte.
- Risken för rostrinningar på betongen är eliminerad.
- Armerad betong kan användas även i mer aggressiva miljöer.
- Varierande betongkvalitet, t ex dålig komprimering, kan lättare tolereras.
- Tunnare täcksikt kan användas.

10.5.2 Varmförzinkad armering i kloridhaltig miljö

Praktiska försök utförda vid RISE KIMAB visar att zink klarar sig mycket bra i kloridhaltig miljö. Upp till 1,5 % klorid i betongen ger obetydlig korrosion på zinken medan det obelagda järnet har betydligt svårare att klara denna koncentration. Zink motstår även högre kloridhalter betydligt bättre än järn men livslängden minskar. Obelagt järn (stål) får förutom allmän korrosion även punktkorrosion, vilket zink inte uppvisar. Även i karbonatiserad betong klarar sig förzinkat stål bättre än obelagt.

Varmförzinkad armering är en pålitlig grund i bra betongteknologi. Den minimerar riskerna för stålkorrosion och därmed betongförstörelse samt ger ett starkt och kostnadseffektivt bidrag till betongens livslängd. När kostnader och konsekvenser för en korrosionsskada hos en utsatt byggnad är analyserade är den extra kostnad, som varmförzinkningen innebär, mycket ringa. Den kan närmast ses som en låg försäkringspremie, som endast behöver betalas en gång.

Medan priset för varmförzinkat armeringsstål kan vara upp till 50 % högre än för obelagt stål är dock denna utgift liten i förhållande till den totala byggkostnaden. Beroende på byggets utformning är merkostnaden ofta en obetydlig del av totalkostnaden.

10.6 Packning och transport av varmförzinkat gods

Även om beläggningen på varmförzinkat gods tål en ganska omild behandling bör godset vid leverans och lagring hanteras med förnuft. Enklare förpackningar

och buntning av långt gods ger inte bara skydd mot mekaniska skador utan ofta också transporttekniska fördelar. Förpackning och buntning skall dock ske så att vitrost undviks. Mellanlägg bör utformas så att godset packas luftigt, se bild 10-16 och 10-17.



Bild 10-16. Varmförzinkat gods klart för leverans till kund.

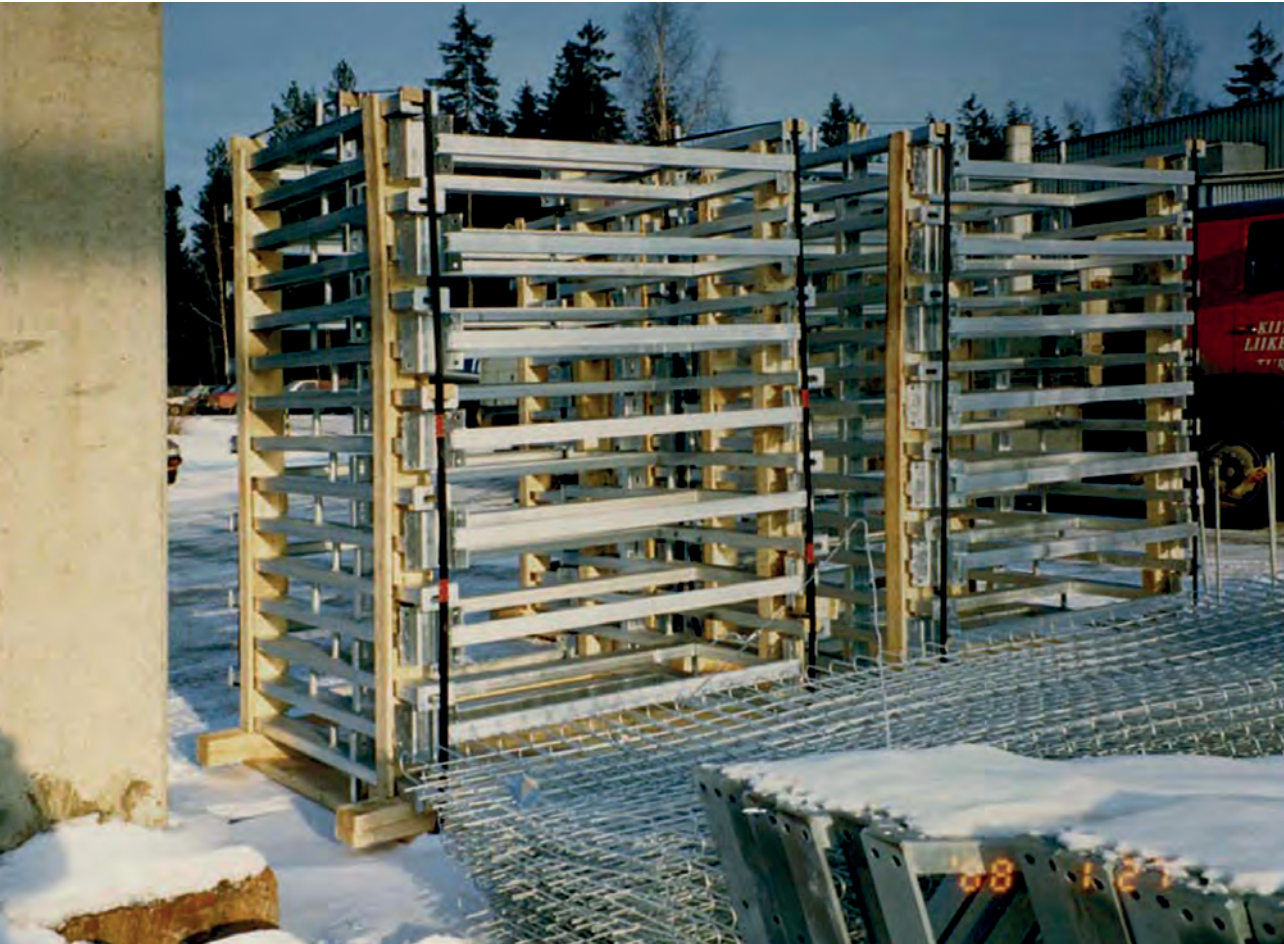


Bild 10-17. Luftigt och stötsäkert packat gods.

11. Målning av varmförzinkat stål – Duplexsystem

Många utredningar har visat att s.k. duplexsystem, d.v.s. varmförzinkning plus målning (bild 11-1), är det mest kostnadseffektiva sättet att skydda stål mot rost i avseendet livslängd till första ommålning. Även om varmförzinkning i sig själv oftast ger ett helt tillfredsställande korrosionsskydd, kan ibland en förstärkning vara önskvärd i vissa aggressiva miljöer. Duplex är lämpligt om framtida underhåll är svårt att utföra eller om zinkbeläggningen är tunn, som hos kontinuerligt förzinkad tunnplåt.

Estetiska skäl - att ge den mattgrå zinkytan ett mera färgglatt utseende - kan vara en annan orsak. Exempel på detta är varsel- och varningsmärkning eller motsatsen - maskering. Ytterligare en tillämpning är som skydd mot galvanisk korrosion om det förzinkade stålet skall förbindas med annan metall, t ex koppar.



Bild 11-1. Fyren Pater Noster är en av Sveriges första duplexbehandlade konstruktioner. Den varmförzinkades 1868 och målades därefter.

11.1 Livslängd hos duplexsystem

Ett duplexsystem har i regel mycket längre livslängd än var och en av beläggningarna för sig. Holländska undersökningar (22) visar att systemets livslängd kan beräknas enligt formeln $L_T = K(L_{Zn} + L_F)$ där

$L_T =$	duplexsystemets livslängd i år
$L_{Zn} =$	zinkbeläggningens beräknade livslängd i år i den aktuella miljön
$L_F =$	färgbeläggningens beräknade livslängd i den aktuella miljön, om den påförs direkt på stål
$K =$	miljöberoende synergifaktor som kan sättas till:
1,5	när systemet exponeras i korrosivitetsklass C5 eller är permanent nedsänkt i havsvatten
1,6-2,0	för exponering i korrosivitetsklass C3-C4 eller när våttiden för systemet är mindre än 60%
2,1-2,3	vid exponering i korrosivitetsklass C2

Hur denna synergieffekt uppkommer framgår av bild 11-2. Förutsättningen är emellertid att färgskiktet har en god och varaktig vidhäftning till zinkytan. Detta fås genom att zinkytan rengörs noggrant och rätt färgtyp används. Målning på zink är i dessa avseenden mer krävande än målning på många andra material. Små mängder föroreningar på ytan eller felaktig färgtyp kan nämligen redan efter kort tid orsaka blåsbildning och/eller avflagnig.

Tidigare rekommenderades ofta att zinkytan skulle exponeras utomhus 1-2 år innan den målades. Rekommendationen var säkert riktig för tiden före 1950-talet. Då var luften - åtminstone i de nordiska länderna - relativt ren och de korrosionsprodukter, som bildades på en zinkyta, bestod nästan enbart av basiska zinkkarbonater.

Efter en tids exponering målade man alltså inte på en reaktiv zinkyta utan på ett inert skikt av karbonater. Resultatet blev i allmänhet gott även med färger som numera skulle anses som olämpliga för zinkytor. Idag är en sådan metod mycket osäker. Dagens atmosfär innehåller mycket mer svavelföreningar och zinkens korrosionsprodukter innehåller ofta vattenlösliga zinksalter. Oavsett vilken färgtyp som läggs på ett sådant, till viss del vattenlösligt, skikt blir resultatet blåsbildning och flagnig.

För att kunna göra en tillfredsställande rengöring måste zinkytans tillstånd klarläggas.

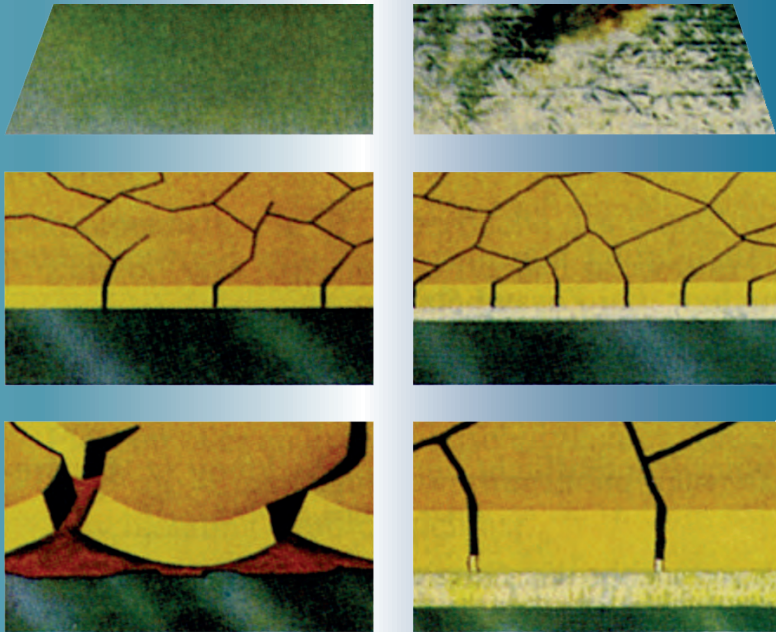


Bild 11-2. Till vänster: Schematisk teckning visande hur mikrosprickor i färg på stål ger upphov till underrost och flagning. Till höger: Mikrosprickor i färg på förzinkat material fylls av korrosionsprodukter från zinken, men dessa har mindre volym än rost från stål och orsakar ej flagning.

11.2 Nyförzinkade, blanka ytor

En blank zinkyta anses ofta som tillräckligt ren för att måla på. I alltför många fall är detta inte riktigt och resultatet blir ett misslyckande.

Ur målningssynpunkt är den nyförzinkade ytan ett gott underlag endast om föremålet:

- inte kylts i vatten. Kylvatten är sällan rent. Olika salter kan därför upplagras på zinkytan och senare försämma eller helt förstöra vidhäftningen hos det påförda färgskiktet.
- inte lagrats inne i förzinkningslokalen efter doppningen i zink. Luften i en sådan lokal innehåller större eller mindre mängder flussrök (partiklar av zink- och ammoniumklorid). Sådana partiklar fastnar på zinkytan och ger en i vatten löslig film, som då den övermålas gör att vidhäftningen mellan zink och färg går förlorad.
- inte lagrats eller transporterats utomhus i fuktig atmosfär. Risken för kondenserande fukt, som ger vitrost, är stor. Mängden vitrost är inte alla gånger så stor att den är synlig för blotta ögat.
- inte lagrats mer än 6 timmar mellan förzinkning och målning. Tiden är naturligtvis beroende av hur ren och torr luften i lagringsutrymmet är.

En "färsk" zinkyta är alltså inte så ren som man kan luras att tro av lustern. Tunna filmer av oljor och fetter från handskar, skor, lyftslingor osv. kan dessutom under en tid öka intrycket av blank och ren yta. Salterna, som nämnts ovan, är också i de aktuella filmerna genomskinliga och mycket svåra att se med blotta ögat.

Varmförzinkad tunnplåt var tidigare praktiskt taget alltid kromaterad eller anoljad som skydd mot vitrost. Kromatskiktet är till större eller mindre del vattenlösligt och målning på en oljefilm lyckas sällan. Sådana skikt måste alltså avlägsnas före målning. Kromateringen har av miljöskäl ersatts av polymerer.



Bild 11-3. Kontrollera alltid med färgtillverkaren att grund- och täckfärg matchar varandra. I detta fall har flagning skett mellan den gula, höggglansiga alkydfärgen och den grå, gummibaserade grundfärgen (22).

11.3 Exponerade, matta ytor

Exponerade, matta zinkytor är alltid överdragna med korrosionsprodukter. Sammansättningen hos dessa är svår att bestämma. Som en tumregel skall dock antas att de innehåller vattenlösliga, eller t.o.m. hygroskopiska, salter och alltså är ett "omöjligt" målningssunderlag. Någon form av rengöring måste alltid till före målning på sådant underlag.

Färgfilmer är alltid mer eller mindre vattengenomsläppliga. Det betyder att om inte de vattenlösliga produkterna tas bort från zinkytan, bildas blåsor fyllda med saltlösning under färgfilmen. I saltlösningen är tillgången på skyddsfilmsbildande ämnen dålig, varvid zinkskiktet korroderar. Korrosionen sprider sig mellan färg och zink och korrosionsprodukterna skjuvar av färgskiktet.

11.4 Rengöring och förbehandling

All erfarenhet visar att svepblästring ger det bästa underlaget för en väl vidhäftande färg på zink. Den måttfulla mekaniska bearbetningen river av alla korrosionsprodukter och andra föroreningar från ytan - även de vattenlösliga. Vitrostskydd och oljor av olika slag tas också bort effektivt.

Många zinkytor är mycket blanka och släta. För sådana är blästringen också välgörande då den ger en ytförstoring eller uppruggning av ytan och alltså en bättre mekanisk förankring av färgskiktet.

Rekommenderade data för svepblästring av förzinkade ytor ges i bild 11-4. Det är viktigt att anvisningarna i denna följs. Otillräcklig rengöring ger ett dåligt målningssresultat. Å andra sidan kan en alltför kraftig mekanisk bearbetning förstöra zinkskiktet eller ge inbyggda spänningar, som senare kan medföra avflagning av färgskiktet. Vid korrekt utförd svepblästring avlägsnas ca 10 µm av zinkskiktet.

Blästermedel:	Aluminiumoxid, korund, silikater, olivin, slaggar.
Kornstorlek:	0,2-0,5 mm
Munstyckstryck:	0,2-0,3 MPa
Munstycksavstånd:	300-500 mm
Anslagsvinkel:	30-60 °
Miljöförhållanden:	20-25 °C, < 50 REH
Ytråhet:	Fin enligt ISO 8503-2
Grundmålning:	Senast 20-45 minuter efter blästring

Bild 11-4. Data för svepblästring av varmförzinkade ytor.

Ytterligare uppgifter om svepblästring kan fås i RISE KIMAB:s handbok i rostskyddsmålning (23).

Kan svepblästring inte utföras rekommenderas följande arbetsgång för industriell lackering:

1. Alkalisk avfettning
2. Noggrann vattensköljning
3. Fosfatering (zinkfosfat)
4. Noggrann vattensköljning
5. Torkning
6. Lackering

Visst gods kan vara kromaterat. Då krävs, förutom avfettning, ibland även borstning eller behandling med nylonull impregnerad med slipmedel av aluminiumoxid. Fosfatskiktet skall vara så tunt som möjligt men kontinuerligt heltäckande. 2-4 g/m², d.v.s. en tjocklek under 1 µm, brukar anses som optimalt.

Vid manuell målning rekommenderas avfettning med emulgerande avfettningsmedel, gärna kombinerat med borstning eller slipning med nylonull, och noggrann vattensköljning, gärna högtryckstvätt. Bland de kommersiella avfettningsmedlen finns även sådana med oxidlösande tillsatser. Detta är en fördel i de fall korrosionsprodukternas sammansättning är okänd.

11.5 Färgval

Vid färgvalet är det viktigt att komma ihåg att en färg kan innehålla upp till 10-15 olika komponenter. Varje tillverkare har var och en sin egen receptur för en viss färgtyp. Råvaruleverantörerna har i sin tur olika recepturer för sina bindemedel, vilket gör att antalet varianter blir mycket stort. Färger av samma typ men från olika tillverkare kan därför i vissa avseenden ha relativt olika egenskaper. Det är därför viktigt att kontrollera med färgtillverkaren att grund- och täckfärg matchar varandra samt att aldrig blanda grund- och täckfärg från olika tillverkare.

I de fall varmförzinkade ytor skall målas rekommenderas att målningssystemen i SS-EN ISO 12944-5:2018 används. Målning av varmförzinkat gods anges i tabell D.1 (Table D.1). I denna tabell beskrivs lämpliga målningssystem för korrosivitetssklass C2 - C5, med olika hållbarhetstider. Målningssystemen har beteckningen "G" (Galvanized)."

11. 6 Pulverlackering

Olika typer av pulverlacker blir allt vanligare på varmförzinkat gods. Om extra höga krav på ytfinish föreligger slipas det varmförzinkade godset i vissa fall helt och hållet för att få bort alla taggar och droppar som kan störa utseendet. Dessutom ger slipning- en en mycket ren yta med bästa förutsättningar för optimal vidhäftning. Godset passerar genom ett antal förbehandlingsbad före pulverlackeringen. Avfettning, sköljning, etsning, sköljning, fosfatering och sealing är exempel på processteg som kan ingå. Därefter måste godset torka. Pulvret appliceras elektrostatiskt, varefter godset transporteras in i härdningsugnen.

11.6.1 Pinholes

Pinholes är små hål i lackskiktet, som kan variera i storlek från små "nålstick" till större porer. Pinholes är framförallt ett estetiskt problem. Korrosionsskyddet är fortfarande bra pga zinkens goda skyddande verkan, men ytorna kan se mindre tilltalande ut. Den huvudsakliga anledningen till att pinholes bildas är förekomst av fukt och vitrost på zinkytan, vilket ger upphov till gasbildning under härdningsprocessen.

För att undvika/minska risken för pinholes bör följande beaktas:

- Zinkytan skall vara fri från föroreningsämnen och ojämnheter.
- Undvik att exponera godset i fuktig miljö - undvik att vitrost bildas.
- Välj rätt stål vid varmförzinkning - helst material med låg kiselhalt, under 0.03 % - som ger en jämnare yta och dessutom är tåligare vid blästring.
- Se till att fosfatskiktet, som läggs på före pulver lackeringen, har hunnit torka ordentligt.
- Förvärm godset.
- Använd pulver av speciell "porkvalitet", som mot verkar bildningen av pinholes.
- Använd pulver med låg viskositet, som har lätt att flyta ut.
- Tjockare skikt hos pulverlacken kan i vissa fall medföra att porerna inte bryter igenom skiktet, och därför inte ger synliga defekter.
- Höj temperaturen långsamt under pulverlackens härdning.

11.7 Att tänka på vid duplexbehandling

Varmförzinkaren behöver veta i förväg om godset ska duplexbehandlas, då detta ställer extra höga krav på ytorna. Använd i första hand stål som ger renzinkskikt ytterst (låg kiselhalt) då detta tål blästring bättre. Om kiseltätat stål redan använts - informera målaren om förutsättningarna. Om lackeringen utförs av annat företag än varmförzinkaren - kontrollera att rätt kompetens och utrustning finns.

Bild 11-5. "Blå huset" Parkbänk, papperskorg och cykelställ i pulverlackerat, varmförzinkat stål.



12. Bågsvetsning av zinkbelagt stål - Punktsvetsning

Zinkbelagt stål kan utan större svårigheter svetsas på samma sätt och med samma metoder som svart stål. Data för svetsning av obelagt material kan emellertid inte alltid användas då beläggningen har viss störande effekt på svetsförloppet. Hur stor denna störande effekt är beror på zinkbeläggningens tjocklek, sammansättning och struktur.

I första hand består problemen i:

- Ökad sprutmängd
- Minskad inträngning
- Ökad porbildning i svetsgods
- Risk för interkristallin sprickbildning i svetsgods
- Ökad rökutveckling

12.1 Sprut, inträngning, porer och sprickbildning

Sprut är i första hand ett problem vid MIG-svetsning. Vid svetsning i kälfogar kan sprutet i vissa lägen störa bågen samt också fastna i svetspistolens munstycke så att trådmatningen störs. Partiklarna från sprutet kan vidare fastna på ytor nära svetsen och försämrat utseendet.

Inträngningen i fogen minskar därför att zinkbeläggningen på fogytorna stör bågens energibalans så att bågspänning och ström minskar.

Porer bildas då förångad zink och gaser inte hinner lämna smältbadet innan detta stelnar. Vid arbete med belagda elektroder är problemet litet. Vid MIG-svetsning, särskilt av dubbelsidiga kälsvetsar, är viss porositet inte ovanlig.

Interkristallina sprickor i svetsgodset på grund av zinkpenetration kan främst uppstå i T-förband vid material över 13 mm tjocklek och arbete med belagda elektroder. Vid MIG-svetsning är motsvarande tjockleksgräns 6,5 mm.

12.1.1 Åtgärder mot sprut, minskad inträngning, porer och interkristallin sprickbildning

Problemen kan lätt elimineras eller nedbringas till acceptabel nivå om någon eller några av följande åtgärder vidtas:

- Använd "antisprut"-medel för att förhindra att sprut fastnar på ytor och svetspistol vid MIG-svetsning.
- Svetsa med spalt mellan fogytorna, 1,5 mm vid MIG-svetsning och 2,5 mm vid svetsning med belagda elektroder. Detta ger ökad i trängning, minskar antalet porer och eliminerar risken för interkristallin sprickbildning (zinkpenetration).
- Svetsa med lägre stränghastighet. Vippa med elektroden längs fogen så att mesta möjliga zink bränns bort före smältbadet. Detta minskar antalet porer och risken för interkristallin sprickbildning.
- Fasa den stående plåten i T-förband så att en K- eller 1/2 V-fog erhålls. Härigenom elimineras interkristallin sprickbildning och antalet porer minskas. Detta gäller oavsett om fogytorna är zinkbelagda eller ej.

12.2 Elektroddval

I första hand bör elektroder som ger låg kiselhalt i svetsgodset väljas. På så sätt minskar risken för interkristallin sprickbildning i T-förband i grövre material.

12.3 Rök

Vid svetsning av obelagt stål uppstår alltid rök som innehåller varierande mängder av bl.a. järnoxid, ozon, hydrogen, koloxider, nitrogenoxider och fluori- der. Vid svetsning av zinkbelagt stål bildas zinkoxid, som också uppstår vid skärning. Zinkoxiden är en vit, voluminös förening, som bildas vid ca 1600 °C och är väl synlig i svetsröken till skillnad mot de tidigare nämnda föreningarna.

12.3.1 Zinkoxidens skadeverkan

Inandning av nybildad zinkoxid kan medföra zinkfeber, s.k. zinkfrossa. Symptomen liknar influensa och ger feber, frossbrytningar, ökad salivavsöndring, huvudvärk och i svårare fall illamående och kräkningar. Zink lagras emellertid inte i kroppen på samma sätt som t.ex. bly och kadmium utan utsöndras med urin och fekes. Symptomen på zinkfeber försvinner därför normalt inom några timmar. Bestående följdverkningar är inte kända.

12.3.2 Skydd mot svetsrök

Vid all svetsning, av såväl obelagt som belagt material, bör lämplig utsugning av svetsröken ordnas. Svetsoperatören skall inte utsättas för risken att inandas svetsrök.

Utomhus kan dock svetsning i regel utföras utan att särskilda åtgärder mot röken behöver vidtas.

Manuell bågs svetsning av zinkbelagt stål behandlas utförligare i litteraturen (24,25).

12.4 Punktsvetsning

De svetsmetoder som används för svart stål kan användas även på förzinkat material. Generellt gäller att svetsdata som tid, ström och elektrodtryck ökas jämfört med motsvarande för obelagt plåt. Svetsparametrarna måste nämligen väljas så att zinksiktet trängs undan vid svetsstället. I annat fall fås endast en lödning mellan zinksiktet. På grund av zinkens benägenhet att legera sig med koppar måste också elektroderna rensas oftare än vid svetsning av obelagt material.

Lämpligt elektrodmaterial är koppar-krom eller koppar-krom-zirkoniumlegeringar. Goda resultat uppnås också med kopparelektroder med hårdmetallinsatser. Elektrodspetsen bör vara utformad som en stympad kon med toppvinkeln 120-140°. God kylning har mycket stor betydelse för elektrodernas livslängd.

Riktigt utförda punkt- och sömsvetsar behöver normalt inte rostskyddsbehandlas.



13. Skruvförband

Att varmförzinka olika komponenter var för sig och sedan sammanfoga dem med skruvförband har flera fördelar. Såväl varmförzinkning som transport från ytbehandlare till monteringsplats kan utföras på ett fördelaktigare sätt med sådana komponenter än med svetsade "halvfabrikat". Vidare undviks tidsödande reparationer av ytor där zinksiktet bränts av vid montagesvetsning.

Med några få undantag kan samma regler som för obelagt material tillämpas vid beräkning och montering. För varmförzinkade konstruktioner bör givetvis även fästelementen vara varmförzinkade för att få likartat korrosionsskydd för hela konstruktionen. Skall skruven ges hög förspänning vaxas gängor och anliggningsplan på de element som skall vridas vid montering.

I aktuella standarder ges information om möjligheter att underskära den utvändiga gängan (skruven) eller att överskära den invändiga gängan.

13.1 Fästelement

Zinksiktets medeltjocklek hos lagerförda varmförzinkade fästelement med gängor under M10 är ca 40 µm och för M10 och grövre ca 60 µm. Mutterns gänga är inte förzinkad utan korrosionsskyddas av skruvgängans zink.

Fästelement upp till hållfasthetsklass 8.8 finns som lagervara och 10.9 kan fås genom särskild beställning. Högre hållfasthetsklasser kan inte varmförzinkas på

grund av anlöpningseffekter samt risken för interkristallin sprickbildning.

13.2 Anliggningsytor

Exempel på karaktäristiska värden på friktionskoefficienten för zinkbelagda ytor:

• varmförzinkad yta	0,15
• varmförzinkad och blästrad yta	0,35
• sprutförzinkad yta, skikt 50 µm	0,3

Vid användning av varmförzinkad yta skall denna vara lätt stålborstad. Blästras ytorna används samma teknik och blästerdata som angivits i kapitel 11, Målning av varmförzinkat stål – Duplexsystem.

13.3 Håltagning

Vid användning av varmförzinkad skruv ökas håldiametern enligt aktuell standard med 0,2 mm. Skall konstruktionen varmförzinkas efter håltagningen ökas håldiametern med ytterligare 0,4 mm.

13.4 Montering

Förzinkade skruvar i hållfasthetsklass 8.8 dras antingen åt med full mankraft med nyckel med skaftlängd enligt bild 13-1, eller maskinellt med moment enligt samma tabell. För skruv i hållfasthetsklass 4.6 minskas tabellvärdena till hälften.

Skruvdimension mm	Hävarm vid manuell åtdragning, mm		Moment vid maskinell åtdragning Nm	
	Skruv i leveranstillstånd ¹	Vaxad mutter	Skruv i leveranstillstånd ¹	Vaxad mutter
12	150	100	60	40
16	200	150	150	90
20	400	200	300	180
22	550	400	400	240
24	700	500	500	300

Bild 13-1. Hävarm och moment vid normal åtdragning av förzinkad skruv i hållfasthetsklass 8.8.
¹Mutter förutsätts behandlad med rostskyddsolja.

14. Ekonomi vid varmförzinkning

Att jämföra kostnader för olika korrosionsskydds-system är inte helt lätt. Många faktorer måste vägas in, såsom livslängd, risk för skador i ytbeläggningsskiktet, exponeringsmiljö mm. Zinksiktets långa livslängd, och den minskade risken för att småskador skall leda till avsevärt nedsatt korrosionsskydd, gör att varmförzinkning i ett längre tidsperspektiv alltid är mer ekonomiskt än andra ytbehandlings-metoder.

14.1 Initialkostnad

Många gånger sker valet av korrosionsskydd med enbart inköpspriset som utslagsgivande faktor. Därmed finns en överhängande risk att ett mycket dåligt korrosionsskydd väljs, vilket i framtiden kan medföra stora kostnader för underhåll.

Initialkostnaden för varmförzinkning baseras normalt på godsets vikt. Det bör då beaktas att rörkonstruktioner får beläggning både på in- och utsida vid varmförzinkning, vilket inte sker vid t.ex. målning. Relationen mellan genomsnittlig godstjocklek och ytan i m²/ton framgår av diagrammet i bild 14-2.

En uppfattning om de relativa initialkostnaderna för målning och varmförzinkning ges i bild 14-3. Oftast brukar valet av korrosionsskydd stå mellan varmförzinkning och målning.

14.2 Underhållskostnad

Att underhålla ett korrosionsskydd kan kosta stora summor, speciellt när det skall utföras på plats. Följande kostnadsposter kan då vara aktuella:

- Borttagning av det gamla skyddet samt av rost
- Uppförande av byggnadsställningar
- Omhändertagande av det gamla korrosions skyddet + deponeringskostnader
- Speciella åtgärder för svåråtkomliga ytor



Bild 14-1. Livslängdskostnaden är av största vikt när det gäller val av korrosionsskydds-system.

- Driftstörningar och avbrotttid
- Påföring av nytt korrosionsskydd
- Transportkostnader

Eftersatt underhåll kan kosta ännu mer i form av sekundärskador, d.v.s. följdskador. Därför gäller det att göra rätt från början för att minska eller helt eliminera underhållskostnaden.

14.3 Livslängdskostnad

Livslängdskostnaden är summan av alla kostnader för ett korrosionsskydd under en konstruktions livslängd. Det självklara valet bör vara ett korrosionsskyddssystem som ger lägsta livslängdskostnad. Att beräkna livslängdskostnaden kan vara svårt utan heltäckande kunskap. Bild 14-4 ger en god uppfattning om denna kostnad vid korrosionsförhållanden enligt korrosivitetsklass C4 (se bild 2-2).

Att välja ytbehandling med lång livslängd och låga livslängdskostnader är att göra en betydande insats för miljön, eftersom detta sparar på råvaror och energi samt minskar koldioxidutsläppen. Den kvarvarande zinken är också lätt att återvinna och använda på nytt.

Genomsnittlig materialtjocklek i mm

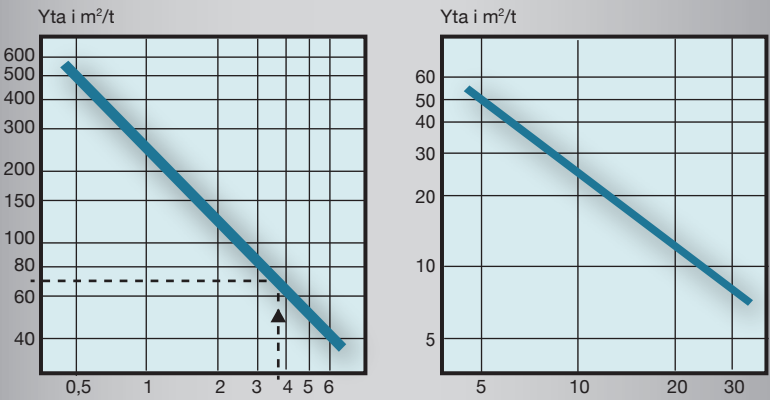


Bild 14-2. Omräkning av godstjocklek i mm till godsytta i m²/ton.

Relativ kostnad

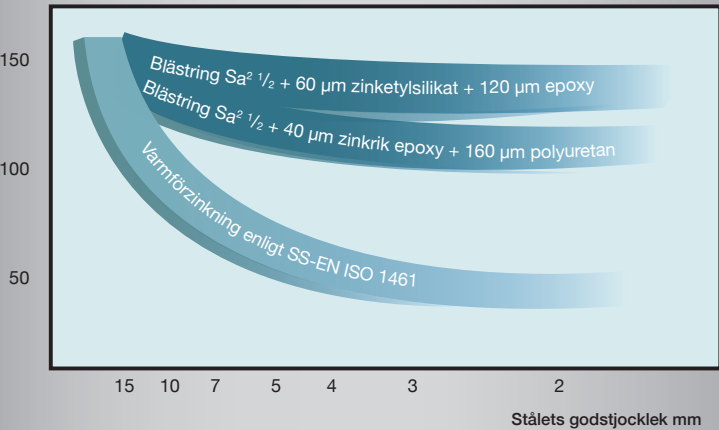


Bild 14-3. Prisrelationerna mellan varmförzinkning och färgsystem vid olika godstjocklek.

Jämförelse av initial- och livslängdskostnader

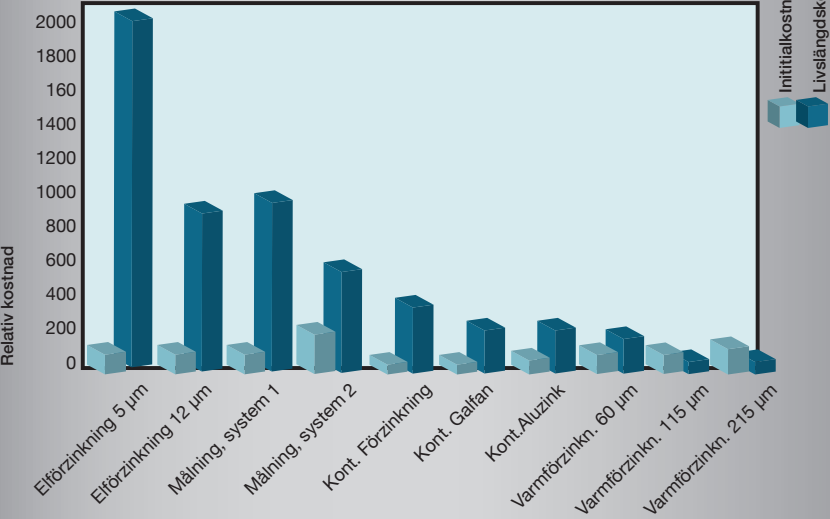


Bild 14-4. Relativ jämförelse av initial- och livslängdskostnader hos olika korrosionsskydd. Korrosivitetsklass: C4 enligt bild 2-2.

15. Zink i miljön

15.1 Allmänt

Zink är en ljus, gråblå, lätt formbar metall med densiteten 7,14 g/cm³. Den är en naturlig byggsten i miljön och intar 24:e plats i rangordningen av de ämnen som förekommer i jordskorpan. Medelhalten zink beräknas till 70 mg/kg. I brytvärd form förekommer zink främst i zinkblände (sphalerit).

När zink exponeras i fuktig luft bildas ett tunt skikt av hydroxid och karbonat på ytan. Skiktet har låg löslighet i vatten och skyddar delvis zinken från vidare korrosion. I närvaro av höga halter svaveldioxid bildas zinksulfat på ytan. Zinksulfat har hög löslighet i vatten och tvättas därför lätt av så att ny zinkyta exponeras för korrosion. Halten av svaveldioxid har dock minskat betydligt i Europa och Sverige de senaste 20 åren och idag uppmätts mycket låga värden, se bild 1-1.

I närvaro av organiska ämnen bildar zinkjoner komplex med bl.a. aminosyror, peptider, proteiner och nukleotider. Framför allt thiol- och hydroxylgrupper samt kväveligander visar affinitet (dragningskraft) för zink. Denna dragningskraft till biomolekyler är bakgrunden till zinks betydelsefulla roll som essentiellt (livsnödvändigt) mikronäringsämne för alla typer av organismer. 300 olika enzymer, i vilka zink spelar en katalytisk, strukturell eller reglerande roll, är kända. Bl.a. är zinkinnehållande proteiner en huvudfaktor vid regleringen av DNA-transkriptionen i cellkärnan. Zink intar också en viktig roll i en rad andra cellfunktioner, t.ex. för att upprätthålla membraners strukturella integritet, vid hormonreceptorbindningen och vid överföring av signaler i nervsystemet.

15.2 Zink i organismer

En vuxen människa behöver ca 12 mg zink per dag för att upprätthålla kroppens livsnödvändiga funktioner samt undvika zinkbrist.

Detta innebär att Sveriges befolkning konsumerar ca 50 ton zink per år. Tyvärr lider många människor i världen av zinkbrist, vilket hos barn yttrar sig i diarrésjukdomar, försämrad tillväxt m.m.

Zink används i sårsalvor, hudkrämer, barnpuder, läkemedel, sololjor mm. Hos djur och människor är zink betydelsefullt för viktiga hjärnfunktioner, immunförsvar och fortplantning.

Zinkbrist hos växter yttrar sig i betydligt sämre tillväxt. För att motverka detta tillsätts tusentals ton zink vid gödning av åkermark. Hos djur får t.ex. spädgrisar zink i fodret för att få bättre immunförsvar, sårhäkning, tillväxt och hud. Enbart till detta åtgår i Sverige ca 70 ton zink per år.

I de flesta system för att bedöma ett ämnes miljöfarlighet ingår ämnets bioackumulerbarhet som ett centralt kriterium. Detta uttrycks vanligen som ämnets biokoncentrationsfaktor (BCF) och bestäms experimentellt med hjälp av vattenlevande organismer. Om BCF-värdet är över 100 anses ämnet ha så hög bioackumuleringspotential att det kan betraktas som miljöfarligt. En testorganism, som exponeras för en låg zinkhalt i vattnet, tar upp och ackumulerar mer zink för att tillfredsställa zinkbehovet, vilket resulterar i högre BCF-värde. Då samma testorganism exponeras för högre zinkhalt i vattnet blir zinkupptaget lägre och följaktligen erhålls ett lägre BCF-värde.



Bild 15-1. Människan behöver ca 12 mg zink per dag för att motverka infektioner.

För ämnen, vars upptagning och ackumulering i levande organismer styrs av väl utvecklade regleringsystem såsom essentiella metaller, saknar BCF-värdet relevans.

Detta blir uppenbart eftersom BCF-värdet för den essentiella metallen zink kan anta vilket värde som helst enligt följande:

a) För en blåmussla varierade BCF-värdet mellan 600 till 55000 efter 8 dygns exponering. Zinkinnehållet i kroppsvävnaden varierade trots dessa höga värden endast med en faktor 2.

b) För en snäckart varierade BCF-värdet mellan 1100 till 9000 efter 8 dygns exponering. Zinkinnehållet i snäckan varierade endast med en faktor 2.

15.3 Zinkens biotillgänglighet

Biotillgänglighet är ett mått på hur lätt en organism kan ta upp ett visst ämne, exempelvis ett näringsämne, en metall eller ett miljögift. Zink har en förmåga att komplexbindas i svårslösliga föreningar, som generellt har låg biotillgänglighet och därmed låg inverkan på miljön.

15.4 Användningsområden

Zink används främst som korrosionsskydd på stål i form av metallbeläggning eller som metalliskt pulver (pigment) i färg, mässing och andra zinklegeringar. Zinkkemikalier används inom vitt skilda områden såsom läkemedel, salvor, träsäddsmiddel, torkmedel, flotationsreagens, garvningsmedel, katalysatorer, livsmedelstillsatser, djurfodertillsatser, oljetillsatser mm. Zinkoxid är den vanligaste kemikalien som ingår i gummitillverkning, hudskyddspreparat, sårsalvor osv.

I Sverige används närmare 70 % av zinken till korrosionsskydd. En större del av denna mängd åtgår till varmförzinkning av kallvalsad plåt och konstruktionsmaterial. Sveriges årliga behov av zink är 35 000 ton och importeras främst från Norge och Finland.

15.5 Avrinning av zink från varmförzinkade produkter

Det finns en utbredd föreställning hos många människor, att användande av metaller i samhället utgör ett problem genom att korrosionsprodukten "läcker" ut och har negativ inverkan på miljön. Denna uppfattning gäller även för zink, som är en vanligt förekommande metall genom den stora mängden varmförzinkade produkter i infrastrukturen. För att kunna bemöta dessa attityder med väl underbyggda fakta har zinkbranschen låtit utföra omfattande studier av hur jord och vatten förorenas vid korrosion av varmförzinkade produkter i utomhusmiljön. Även i miljöer där många källor till zink existerar, t.ex. längs motorvägar där zink kan frigöras både från däck- och vägslitage, smörjoljor och korrosion, har de utförda undersökningarna visat att zinken inte ger några negativa effekter (28).

Vid "Division for Surface and Corrosion Science" på Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm har man studerat hur zink, koppar samt rostfritt stål från takmaterial påverkar miljön. Vid regn sköljs en del av den bildade korrosionsprodukten på metallytorna bort och följer med regnvattnet. Mängden korrosionsprodukt som sköljs av beror på en rad faktorer, såsom mängden luftföroreningar, kemiska sammansättningen och pH-värdet hos regnet samt längden och intensiteten hos regnvädret.

Metallen, som förekommer i regnvattnet som lämnar takkanten, består huvudsakligen av fria joner. Vid studien framkom, att då det metallinnehållande vattnet passerat genom ett jordlager, eller varit i kontakt med betong eller kalksten, hade över 96 % av den totala metallhalten försvunnit. Merparten av metallen bands mycket snabbt i kontakt med jorden, och den återstående metallen i vattnet hade låg biotillgänglighet och därmed liten möjlighet att inverka på miljön (28, 29).

15.6 Framställning och energiförbrukning

Zink framställs främst ur malmen sphalerit, som efter krossning, anrikning och rostning löses i en elektrolyt. Återvunnen zink från bl.a. stålverksstoff och andra råvaror löses direkt i elektrolyten. Med hjälp av ström fälls zinken ut ur elektrolytbadet på aluminiumplåtar. Plåtarna strippas från zink, som smälts ned och gjuts till tackor för leverans till förbrukarna. Den zink som används vid varmförzinkning har en renhet på 99,995 % zink. Resterande 0,005 % utgörs främst av järn.

Naturvårdsverket har gjort en beräkning av det relativa energibehovet vid primär framställning av zink och funnit att energiförbrukningen är den lägsta jämfört med samtliga basmetaller utom järn, räknat på både vikt- och volymenhet. Uppgifter från en zinkproducent anger energiförbrukningen till 12-13 GJ/ton zink. Återvunnen zink från förzinkad plåt kräver endast 5 % av denna elåtgång för framställning av ny zink. Zink intar därför en mycket gynnsam position i jämförelse med andra basmetaller när det gäller hushållning med naturresurser.

15.7 Återvinning

Vid varmförzinkning uppstår en del processavfall, sekundära råvaror, där all zink ur hårdzink, aska, svarta och filterstoff återvinns.

Av världens totala årliga zinktonnage kommer idag ca 35 % från återvunnen zink. Zinkens omloppstid är 30 till 40 år, vilket innebär att närmare 80 % av tillgänglig zink återvinns. Det som inte kan återvinnas är förbrukade kemikalier liksom den zink som korroderar bort vid skydd av stål. Detta gäller både zinkpigment i färg och metallbeläggningar.



Bild 15-2. Närmare 80 % av tillgänglig zink återanvänds.

Zink kan återvinnas hur många gånger som helst utan att förstöras. Detta innebär att den har sin givna plats i ett hållbart (bärkraftigt) samhälle. Genom att skydda stålet från korrosion under många årtionden sparas järnmalm, energi, transporter samt utsläpp av främst koldioxid.

15.8 Utsläpp av zink

a) Punktkällor

Utsläppen är av två olika slag - utsläpp till luft och till vatten. Från punktkällor i Sverige kommer den största mängden av utsläpp till vatten främst från gruvavfall och skogsindustrin. Till luft kommer största delen från skrotbaserade stålverk utan filter och från ved- och torveldning.

Ytbehandlingsindustrin har idag mycket effektiva reningsanordningar och det årliga utsläppet av zink är endast 2 ton. En större varmförzinkningsanläggning

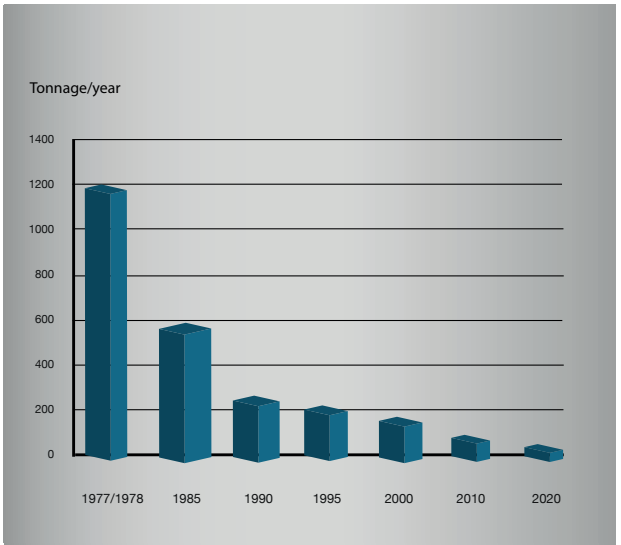


Bild 15-3. Utsläppen av zink till luft har minskat kraftigt under de senaste 30 åren (30).

har idag ett årligt utsläpp på ca 20-25 kg per år, vilket är fyra gånger lägre än Naturvårdsverkets tröskelvärde.

Figur 15-3 och 15-4 visar hur utsläppen till luft och vatten ändrats de senaste 30 åren. Att minskningen är lägre till vatten kan förklaras av att gruvavfallet vid Falu gruva läcker zink trots att där aldrig skett någon zinkframställning.

b) Diffusa utsläpp

De diffusa utsläppen kommer främst från korrosion, trafikslitage (däck, asfalt, bromsbelägg) och hushållsavlopp. En stor del kommer också genom nedfall från atmosfären orsakad av utsläpp i andra länder. Trenden är nedåtgående och de senaste 10 åren har de diffusa utsläppen minskat med 40 %. En stor bidragande orsak till detta är att svaveldioxidhalten i atmosfären minskat betydligt i hela Europa.

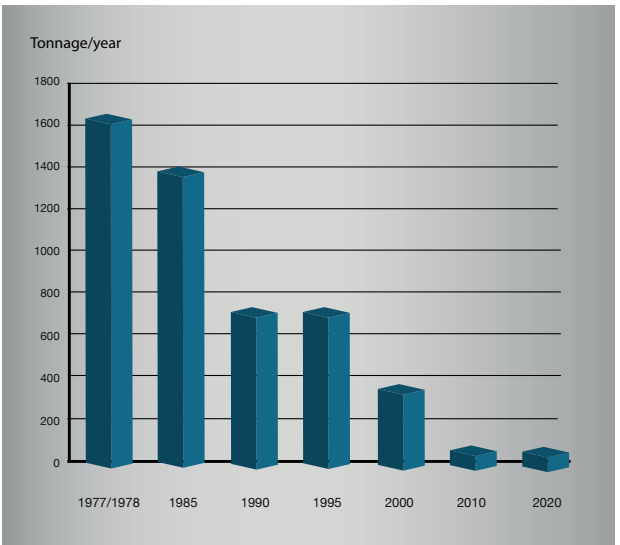


Bild 15-4. Även utsläppen av zink till vatten har sjunkit kraftfullt under den gångna trettioårsperioden (30).

16. Varmförzinkningsprocessens miljöpåverkan

16.1 Branschens miljöarbete

Merparten av Nordens varmförzinkare är medlemmar i branschorganisationen Nordic Galvanizers. Nordic Galvanizers informationskontor är ledande när det gäller utvecklingen av varmförzinkning och miljöfrågor som rör zink.

Branschföreningens medlemmar bedriver sina verksamheter med tillstånd enligt miljöbalken och har väl utarbetad:

- Miljöpolicy
- Miljöredovisning
- Kemikaliegranskning
- Kontroll av yttre och inre miljö
- Kravspecifikation enligt SNV:s allmänna råd för varmförzinkare

16.2 Produkten

Vid varmförzinkning av detaljer och konstruktioner doppas godset i smält zink, antingen vid ca 460 °C (lågtemperatur) eller ca 560 °C (högtemperatur), varvid en legering mellan zink och järn bildas. Vid lågtemperatur är den bildade legeringens tjocklek beroende av stålets innehåll av främst kisel samt av dopptiden. Zinksiktet blir normalt 70 till 125 µm tjocka men både tunnare och tjockare skikt kan erhållas. Tunna skikt är i regel blanka, medan tjockare skikt vanligen blir mer gråmatta.

Varmförzinkning används för att skydda stål mot korrosion (rost). I utomhusmiljö med ovannämnda skikt tjocklek varar korrosionsskyddet oftast över 50 år. Varmförzinkning används på de flesta produkter där man vill ha ett pålitligt och långvarigt korrosionsskydd till låg kostnad. Med livslängder på över 50 år utan underhåll blir livslängdskostnaden för varmförzinkade produkter mycket låg.

Den varmförzinkade ytan kan efter preparering målas (duplex) och får då ett förlängt korrosionsskydd, eftersom zink och färg ömsesidigt skyddar varandra.

Vid varmförzinkning ger zinken till skillnad från enbart målning av stålet dessutom ett katodiskt skydd, vilket innebär att repor och skador i zinksiktet inte rostar.



Bild 16-1. Varmförzinkad soptunna.

16.2.1 Produktinnehåll

Vid varmförzinkning i Norden används zink av mycket hög renhet, SHG-zink (Special High Grade), som innehåller minimum 99,995 % zink. Järninnehållet är ca 0,003 % och bly samt kadmium vardera < 0,003 %, ofta betydligt lägre. Zinken köps i tackor om 1 eller 5 ton och lyfts ned i zinkbadet där den smälter vid 420 °C.

Förutom zink tillförs några tusendels procent aluminium i badet, och i vissa fall även lite nickel. Tidigare tillsattes också bly till zinksmältan, vilket är gynnsamt ur processynpunkt men olämpligt ur ett miljöperspektiv, varför blytillsats inte längre förekommer i Norden.

Vid varmförzinkning bildas hårdzink, som är en förening av järn och zink som innehåller mer än 95 % zink, samt aska som innehåller ca 70 % zink. Ur båda produkterna återvinns zinken. Vidare erhålls förbrukade betbad eller hydroxidslam från vilka järn och zink återvinns. I stort sett är varmförzinkningsanläggningarna slutna och de olika restprodukterna återvinns.

16.3 Förpackning och transport

De varmförzinkade produkterna förpackas och transporteras buntade eller i pallar. Släta ytor skall inte packas tätt mot varandra eftersom regn eller kondensvatten i spalter kan bilda vitrost (zinkens korrosionsprodukt) på godset.

Beläggningen är tåligare mot transportskador än t ex målning. Transport av produkterna sker företrädesvis på lastbil. Vintertid är det viktigt att använda täckt bil, så att godset inte utsätts för t ex vägsalt.

16.4 Materialåtervinning och energiåtgång

De varmförzinkade produkterna kan återvinnas eller förzinkas på nytt eftersom stålet är helt intakt efter användningstiden. Hos förzinkat material kan zinken återvinnas som zinkoxid i stålverksfiltret.

Zink är lätt att återvinna och idag används 36 % returzink vid nytilverkning, vilket är närmare 80 % av tillgänglig zink. Det mesta av returzinken kommer från restprodukter, mässing och förzinkat stål.

Vid framställning av zink åtgår 13 GJ per ton zink (data ifrån New Boliden). Vid sekundär framställning är motsvarande siffra 0,65 GJ, vilket innebär att zink är en av de billigaste metallerna att framställa. Detta innebär också att miljöpåverkan vid framställning är lägre än hos många andra metaller.

16.5 Tillverkning

Varmförzinkning sker i ca 55 anläggningar i Norden (ca 24 i Sverige) av varierande storleksgrad. De flesta är kvalitets- och miljöcertifierade. Varmförzinkningen utförs ofta manuellt beroende på godsets varierande storlek och mängd. Det finns också automatanläggningar för större serier och mindre storleksvariationer.

16.5.1 Utsläpp till luft

Vid doppning i zinkbadet frigörs stoftpartiklar som samlas upp i filter och återvinns. Några rökgaser innehållande koldioxid eller kväveoxider bildas ej. Varmförzinkning i slutna anläggningar avger således minimala utsläpp till luft.

16.5.2 Utsläpp till vatten

Varmförzinkningsanläggningar använder relativt små volymer vatten jämfört med andra ytbehandlingsprocesser. Det är ovanligt att en varmförzinkningsanläggning behöver göra sig av med förbrukat vatten. Det mesta av det vatten som används kan behandlas och återföras inom ett annat processteg i anläggningen. Flera anläggningar har även eget vattenreningsverk.

16.5.3 Energianvändning

Vid varmförzinkning åtgår vid enskift 600-650 KWh per ton stål och vid treskift 350 KWh. Hushållning

med energi har stor prioritet. Värmeåtervinning från zink- och kylbad används bl.a. till uppvärmning av lokaler. De flesta processbad arbetar vid rumstemperatur.

16.5.4 Buller och hälsa

Bullret från anläggningarna är i regel lågt och påverkar inte omgivningen.

Efter närmare 200 år med varmförzinkning kan konstateras att inga negativa hälsoeffekter har förekommit utan snarare har positiva effekter iakttagits.

16.6 Miljöprofil

Miljöprofilen avser medelvärden som varmförzinkningsprocessen ger upphov till/förbrukar vid ytbeläggningen (lokala avvikelser kan förekomma).

Zink	60-70 kg per ton
EI, dagtid	600-650 KWh per ton
EI, treskift	350 KWh per ton
Koldioxid	0 kg per ton
Kvävedioxid	0 kg per ton
Saltsyra	15 kg per ton
Flussmedel	2-3 kg per ton
Vatten	Små volymer som renas

Restprodukter:

Hårdzink	10 kg per ton
Aska	15 kg per ton
Filterstoft	0,3 kg per ton
Hydroxidslam (avvattnat)	5 kg per ton

16.6.1 Miljöstyrning

De nordiska varmförzinkarna bedriver sedan många år ett aktivt miljöarbete. Det omfattar hushållning med energi och råvaror, förebyggande av utsläpp och omhändertagande av restprodukter för återvinning. Processen utvecklas med hänsyn till miljön och människor.

Vid varje anläggning finns en miljöansvarig person. Inarbetade rutiner för hantering av processbad och processkemikalier finns. Anläggningarnas olika processer dokumenteras regelbundet och en årlig miljöredovisning tas fram.

16.7 Zinkens miljöpåverkan

Zink är en essentiell metall som i små mängder är

oerhört viktig för de flesta organismer. En vuxen människa behöver ca 12 mg per dag, vilket innebär att Sveriges befolkning konsumerar närmare 50 ton zink om året. Ser vi på världens befolkning är siffran runt 30 000 ton zink per år.

De antropogena utsläppen till vatten och luft har minskat kraftigt under de senaste 30 åren. Ytbehandlingsindustrins utsläpp av zink till vatten och luft är idag så låga (2-3 ton per år) att ytterligare åtgärder knappast är ekonomiskt motiverbara.

Mätningar av zinknedfall (zinkhalt i mossa) visar idag ett värde på 30-40 mg per kg, vilket är lägre än den naturliga bakgrundshalten i Sverige, som i medeltal uppgår till ca 70 mg/kg torr jord. Naturvårdsverket har höjt gränsen för tillåten zinkmängd i jord till 100 mg/kg (i Mälardalskapen till 150 mg/kg = 100 % ökning).

Alla mätningar och uppföljningar visar på en kraftig minskning av zinkhalten i vår miljö och många områden har idag zinkbrist. För att motverka detta sprids årligen ca 1 000 ton zink ut på våra åkrar.

En större punktkälla för utsläpp av zink är varphögar. Speciellt de kring Falun läcker zink trots att det aldrig brutits någon zink på denna plats. Detta medför att sjöar i trakten har ganska hög zinkhalt (totalt ca 400 mikrogram per liter). Som jämförelse kan nämnas att älvvatten innehåller ca 4 mikrogram per liter. Trots denna höga zinkhalt har inga störningar på organismer i dessa sjöar inrapporterats.

Landner och Lindeström uppger i sin bok "Zink - resurs och/eller hot?" (26) att trots höga totalhalter av zink på vissa platser, finns inga uppgifter på att zink skulle vara farligt för omgivningen. En förklaring till detta kan vara att zink snabbt komplexbinds och mineraliseras, varför den biotillgängliga delen är mycket låg.

16.8 Miljövarudeklaration

Den europeiska varmförzinkningsorganisationen EGGA (European General Galvanizers Organization), där Nordic Galvanizers är medlemmar, har tagit fram en miljövarudeklaration för varmförzinkat stål.

En miljövarudeklaration är ett sätt att kommunicera produkters miljöegenskaper, och kan användas på alla sorters produkter och tjänster. Miljövarudeklarationer enligt ISO 14025 baseras på livscykelanalys.

En miljövarudeklaration är ett bra sätt att möta användare och myndigheters förväntningar på relevant miljöinformation. Den bakomliggande livscykelanalysen är dessutom en utmärkt grund för att ytterligare förbättra en produkts miljöegenskaper. Byggande av hus och infrastruktur svarar för en stor del av resursförbrukningen i världen, vilket har medfört att

miljöfrågor får en ökad betydelse vid projektering och upphandling. Olika byggmaterial har olika miljöbelastning per kg - men har också helt olika egenskaper. Nya standarder för bedömning av miljöprestanda hos hela byggnadsverk är därför en nödvändighet för ett systematiskt arbete med hållbart byggande.

LCI-data är ett kraftfullt verktyg då det ska göras en detaljerad studie av produkters och tjänsters miljöpåverkan under hela deras livscykel. LCI-data kan dock vara svåra att tolka för produktanvändarna, och det blir därför allt vanligare att presentera en produkts miljöprestanda med hjälp av en miljövarudeklaration (EPD - Environmental Product Declaration).

Hur kan man mäta/utvärdera om ett material eller en produkt är miljömässigt hållbar? Ett stort gemensamt projekt för att öka kunskapen inom detta område startades 2004 av varmförzinkare och zinkleverantörer i Europa. Syftet med projektet var att granska hur varmförzinkningsprocessen och varmförzinkat stål står sig miljömässigt i jämförelse med andra konstruktionsmaterial och ytbeläggningar som finns på marknaden. Datainsamlingen har uppdaterats vid flera tillfällen och omfattade senast över 1000 ton stål, varmförzinkat på 66 olika anläggningar i 14 länder i Europa. Resultatet representerar medelvärdet för en typisk, styckvis varmförzinkad produkt. Vanligtvis görs en EPD för en viss, specifik produkt.

I det här fallet har man dock gjort en generell EPD, för en varmförzinkad stålplåt med en viss fastställd storlek.

Miljövarudeklarationen går att ladda ned på www.nordicgalvanizers.com.



Bild 16-2. Miljövarudeklarationen baserar sig på data ifrån ett stort antal varmförzinkningsanläggningar i Europa och representerar medelvärdet för en typisk, styckvis varmförzinkad produkt.

17. Referenser

1. Wranglén, G: Metallens korrosion och ytskydd. Almqvist & Wiksell, Stockholm 1967.
2. Mattson, E: Elektrokemi och korrosionslära, Bulletin nr 100, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1987.
3. Svendenius G, et al: Korrosion och korrosions-skydd - läromedelsserie, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1977.
4. ISO 12944-2:2017, Färg och lack - Korrosions-skydd av stålkonstruktioner genom målning - Del 2: Miljöklassificering.
6. SIS: SIS handbok 160, utgåva 1, Stockholm, 1986.
7. Ruddle, G E et al: Analysis of the Distribution and Form of Silicon in the Steel Surface as Related to the Galvanizing Reaction. Proc Sec Int ILZRO Galv Seminar. St Louis 9-10 June 1976, ILZRO, New York 1976.
8. Leroy, V et al: Galvanizing of Silicon Containing Steels, Ibid.
9. Hänsel, G: Thick and Irregular Galvanized Coatings, Proc 13 Int Galv Conf, London 1982. Zinc Dev Association, London.
10. Bablik, H: Galvanizing (Hot Dip) E & F N Spon Ltd, London W.C.2, 1950.
11. Horstmann, D: Allgemeine Gesetzmässigkeiten des Einflusses von Eisenbegleitern auf die Vorgänge beim Feuerverzinken. Stahl u Eisen 80 (1960) : 22 1531-1540.
12. Horstmann, D: Das Verhalten mikrolegierter Baustähle mit höherer Festigkeit beim Feuerverzinken. Arch Eisenhüttenw. 46 (1975):2, 137-141.
13. Hirn, A: Användande av förzinkade detaljer vid förhöjd temperatur, delrapport VII för forskningsuppg. 4020/92 "Förzinkning av svåra stål", IM-3165, Inst för Metallforskning, Stockholm 1994.
14. Nieth, F: Abriebverhalten von Eisen-Zink-Legierungsschichten und Reinzinkschichten. Metalloberfläche 22 (1968):6, 175-177.
15. Schikorr, G: Atmospheric Corrosion Resistance of Zinc. Zinc Dev Association, London 1965.
16. Kucera, V & Mattson, E: Förbättrade zinkskikt för korrosionsskydd av järn och stål. Bull 78. Korrosionsinst., Stockholm 1976.
17. Slunder, CJ & Boyd, WK: Zinc: Its Corrosion Resistance. Zinc Dev Association, London 1971.
18. Schwenk, W & Friehe, W: Korrosionsverhalten Feuer- und Spritzverzinkter Stahlbleche mit und ohne Schutzanstrich auf dem Seewasserversuchsstand des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Helgoland. Stahl u. Eisen 92 (1972):21 1030-1035.
19. Viktor, V: Korrosion hos zink i sötvatten. Varmförzinkningstekniska konferensen 1962. Nordisk Förzinkningsförening, Stockholm 1963.
20. Wiederholt, W: Korrosionsverhalten von Zink in Wässern. Zinkberatung e.V. Düsseldorf 1965.
21. Vinka, T-G: Korrosion på förzinkat stål och kolstål i karbonatiserad och kloridhaltig betong, Nordisk Korrosion nr 3/2002.
22. van Eijnsbergen, JFH: Duplex Systems Hot Dip Galvanizing plus Painting. The Hauge, 1994.
23. Handbok i Rostskyddsmålning. Bulletin nr 85, upplaga 2, Korrosionsinstitutet. Stockholm 1984.
24. Bland, J: Welding Zinc-Coated Steel. American Welding Soc. Miami, Florida 1972.
25. Thomas, R: Bågsvetsning av zinkbelagt stål. Nordisk Förzinkningsförening. Stockholm 1974.
26. Landner, L & Lindeström, L: Zink – resurs och/eller hot? En fakta-redovisning. Miljöforskargruppen, Stockholm och Fryksta 1996.
27. Landner, L & Reuther, R: Metals in Society and in the Environment, AF-Environmental Research Group and enas Environmental Assessments, Sweden and Germany 2004.
28. Tom Wolley and EGGA Working Group: Varmförzinkning och hållbart byggande, England 2008.
29. Odnevall Wallinder I, Prof. Ph. Dr., Division for Surface and Corrosion Science, www.corrosionscience.se, Tekniska Högskolan Stockholm.
30. Hansson K et al, IVL Swedish Environmental Research Institute, Sörme S et al, SCB and Segersson D, SMHI, On behalf of the Environmental Protection Agency, SMED Report No. 106 2012, Fugitive emissions to air and water, 2012.



Varmförzinkning - det underhållsfria korrosionsskyddet med oöverträffad livslängd!

Varmförzinkning ger stål ett långvarigt underhållsfritt korrosionsskydd i de flesta miljöer.

I den här handboken finns information om stålval, konstruktionsutformning, miljöaspekter och annat av nytta för den som vill korrosionsskydda sin produkt.

Nordic Galvanizers är branschorganisationen för varmförzinkningsföretag i Norden. Till oss kan du vända dig med alla slags frågor som rör varmförzinkning av stål.

På vår hemsida, www.nordicgalvanizers.com finns ytterligare information och där presenteras kontinuerligt nyheter inom branschen.

nordic
GALVANIZERS 

info@nordicgalvanizers.com, www.nordicgalvanizers.com, +46 8 446 67 60