



NG

KUUMASINKITYSKÄSIKIRJA

Johdanto

Teräs on aikamme käytetyin rakennusmateriaali. Teräs tarjoaa monia etuja, mutta valitettavasti sen merkittävänä haittapuolena on se, että teräs syöpyy. Luotettavalla korroosiosuojauksella on erittäin tärkeä rooli rakenteen pitkän ja huoltovapaan käyttöiän varmistamisessa, ja tässä kuumasinkitys astuu mukaan kuvaan. Rakenteen upottaminen sulaan sinkkiin antaa sille sekä ulko- että sisäpuolisen korroosiosuojauksen, jolla on erittäin hyvä kestävyys. Kuumasinkitystä käytetään lukuisiin erilaisiin tuotteisiin pienistä kiinnitysosista aina suuriin palkkeihin, siltasegmentteihin, kattotuoleihin, lyhtypylväisiin, tiekaiteisiin ja julkisivuelementteihin. Mahdollisuudet ovat rajattomat. Terästä käytettäessä kuumasinkityksellä on usein tärkeä täydentävä rooli.

Tämän käsikirjan julkaisijana on Nordic Galvanizers, joka on pohjoismainen kuumasinkitysyriyten toimialaorganisaatio. Verkkosivustollamme osoitteessa www.nordicgalvanizers.com on lisätietoa ja siellä julkaistaan jatkuvasti toimialan uutisia.

Nordic Galvanizersilla on Tukholmassa tiedotustoimisto, jonne jäseniemme asiakkaat voivat ottaa yhteyttä, jos heillä on kysyttävää tai jos he haluavat neuvoja teräksen valintaan, rakennesuunnitteluun, standardeihin, korroosiorasitusluokkiin, ympäristökysymyksiin tai muihin teräksen kuumasinkitykseen liittyviin osa-alueisiin liittyen. Nordic Galvanizers muun muassa järjestää jäsenyrityksilleen konferensseja, joissa esitellään teknistä kehitystä ja tuotannon parannustoimia, sekä osallistuu kansainväliseen yhteistyöhön eurooppalaisen kuumasinkitysalan järjestön European General Galvanizers Associationin (EGGA) kautta. Valitsemalla kuumasinkitsijän, joka on Nordic Galvanizers -järjestön jäsen, varmistat käyttäjänä, että tuotteesi on kuumasinkitty laadukkaasti ja ympäristötietoisesti. Voit myös saada halutesasi nopeasti apua ja vastauksia tuotteisiin liittyviin kysymyksiin joko kuumasinkitsijältäsi tai Nordic Galvanizersin tiedotustoimistosta.

Tämä käsikirja on julkaistu ensimmäisen kerran vuonna 1968 otsikolla ”Kuumasinkitys korroosionsuojana”. Kirja sai erittäin kiinnostuneen vastaanoton. Sitä on sen jälkeen uudistettu kahdeksan kertaa, ja se on julkaistu seitsemällä eri kielellä.

Käsillä olevassa kahdeksannessa painoksessa on huomioitu viime vuosien tekninen kehitys ja uudet ympäristönäkökohdat. Käsikirja perustuu aiemman käytännön mukaisesti alan asiantuntijoiden tutkimustuloksiin, kokemuksiin ja tietoon. Toivomme, että tästä kirjasta sen aiempien painosten tapaan on hyötyä ja iloa kaikille, jotka työskentelevät teräksen korroosiosuojaukseen liittyvien kysymysten parissa.

Tukholma maaliskuussa 2020



Annikki Hirn

Sisältö

1. Korroosio ja korroosion esto

2. Korroosionestomenetelmän valinta

3. Sinkitysmenetelmiä

- 3.1 Kuumasinkitys
- 3.2 Sähkösinkitys, elektrolyyttinen sinkitys
- 3.3 Ruiskusinkitys
- 3.4 Sherardisointi
- 3.5 Mekaaninen sinkitys
- 3.6 Maalaus sinkkipölymaaleilla

4. Kuumasinkitys

- 4.1 Kuumasinkityksen edut ja rajoitukset
- 4.2 Työn suoritus
 - 4.2.1 Pientavaran kuumasinkitys – linkous
 - 4.2.2 Lanka ja putkisinkitys
 - 4.2.3 Ohutlevyn kuumasinkitys

5. Reaktiot raudan ja sinkin välillä

- 5.1 Kerroksen rakenne
- 5.2 Alumiinilla tiivistetyt teräkset
- 5.3 Sandelin-teräkset
- 5.4 Piillä tiivistetty teräs
- 5.5 Muiden seosaineiden vaikutus
- 5.6 Muiden tekijöiden vaikutus
- 5.7 Seosaineiden vaikutus sinkkisulaan
- 5.8 Teräksen valinta
 - 5.8.1 Alumiinilla tiivistetyt teräkset, joilla alhainen reaktiivisuus
 - 5.8.2 Sandelin-ilmiön riski
 - 5.8.3 Suuremmat kerrospaksuudet
- 5.9 Raudan ja sinkin reaktio teräsnauhojen sinkityksessä

6. Kuumasinkityn teräksen lujuus

- 6.1 Murtolujuus, iskusitkeys ja muokattavuus
- 6.2 Hitsausjännitykset
- 6.3 Väsymislujuus
- 6.4 Haurausilmiöt, halkeilu
- 6.5 Kuumasinkitty teräs ja palaminen
- 6.6 Sinkkipinnoitteiden lämmönkestävyys
- 6.7 Sinkkipinnoitteiden kulutuskestävyys

7. Rakenteiden suunnittelu ja valmistus

- 7.1 Turvallisuusvaatimukset
- 7.2 Laatunäkökohtia
 - 7.2.1 Käsittelymahdollisuudet
 - 7.2.2 Toisiinsa nähden liikkuvat osat
 - 7.2.3 Vältä rakenteita, jotka saattavat vääntyä
 - 7.2.4 Vältä eri pinnanlaatuja ja materiaalityyppien yhdistelmiä
 - 7.2.5 Vältä happopesäkkeitä
 - 7.2.6 Päälekkäiset pinnat
 - 7.2.7 Vältä taskuja
 - 7.2.8 Kierteelliset osat
 - 7.2.9 Merkintä
 - 7.2.10 Hitsaaminen
 - 7.2.11 Muuta

8. Standardit

- 8.1 Yleiset vaatimukset
- 8.2 Suomalaiset standardit

9. Tarkastustoiminta

- 9.1 Alakohtaiset standardit
- 9.2 Paksuus
- 9.3 Ulkonäkö
- 9.4 Tarttuvuus
- 9.5 Toimenpiteet poikkeamatilanteissa
- 9.6 Toimenpiteet vaurioissa – korjaus
- 9.7 Approved Galvanizer -kuumasinkitsijät rakennustuotteille

10. Sinkkipinnoitteiden korroosio

- 10.1 Korroosio ilmassa
 - 10.1.1 Punaruskea värjäytyminen
- 10.2 Korroosio nesteissä
 - 10.2.1 Valkoruoste
- 10.3 Korroosio maaperässä
- 10.4 Sähkökemiallinen korroosio
 - 10.4.1 Sinkityksen katodinen suojauskyky
 - 10.4.2 Galvaaninen korroosio sinkityssä teräksessä, joka on kontaktissa betoniin valetun raudoitusteräksen kanssa
 - 10.4.3 Sinkkipinnoitteet kontaktissa muiden metallien kanssa

- 10.5 Kuumasinkitty teräs kosketuksissa rakennusmateriaaleihin
 - 10.5.1 Kuumasinkitty rauditus
 - 10.5.2 Kuumasinkitty betoniteräs kloridipitoisessa ympäristössä
- 10.6 Kuumasinkittyjen esineiden pakkaus ja kuljetus

11. Sinkityn pinnan maalaus– Duplex-käsittely

- 11.1 Duplex-käsittelyn kestoikä
- 11.2 Juuri sinkitty, kirkas pinta
- 11.3 Vanhat, himmeät sinkkipinnat
- 11.4 Puhdistus ja esikäsittely
- 11.5 Maalin valinta
- 11.6 Jauhemaalaukset
 - 11.6.1 Pinhole-reiät
- 11.7 Huomioita duplex-käsittelystä

12. Sinkityn teräksen hitsaus

- 12.1 Roiskeet, tunkeuma, huokokset ja halkeamat
 - 12.1.1 Roiskeiden, pienentyneen tunkeuman, huokosten ja raerajahalkeilun eliminointi
- 12.2 Hitsauspuikkojen valinta
- 12.3 Hitsaussavut
 - 12.3.1 Sinkkioksidi haittavaikutukset
 - 12.3.2 Suojautuminen hitsauskaasuja vastaan
- 12.4 Pistehitsaus

13. Ruuviliitokset

- 13.1 Kiinnitysosat
- 13.2 Liitospinnat
- 13.3 Reikien tekeminen
- 13.4 Kierreosien alimitoitus

14. Kuumasinkityksen taloudellisia näkökohtia

- 14.1 Alkukustannukset
- 14.2 Ylläpitokustannukset
- 14.3 Käyttöänsä kustannukset

15. Sinkki ja ympäristö

- 15.1 Yleistä
- 15.2 Sinkki organismeissa

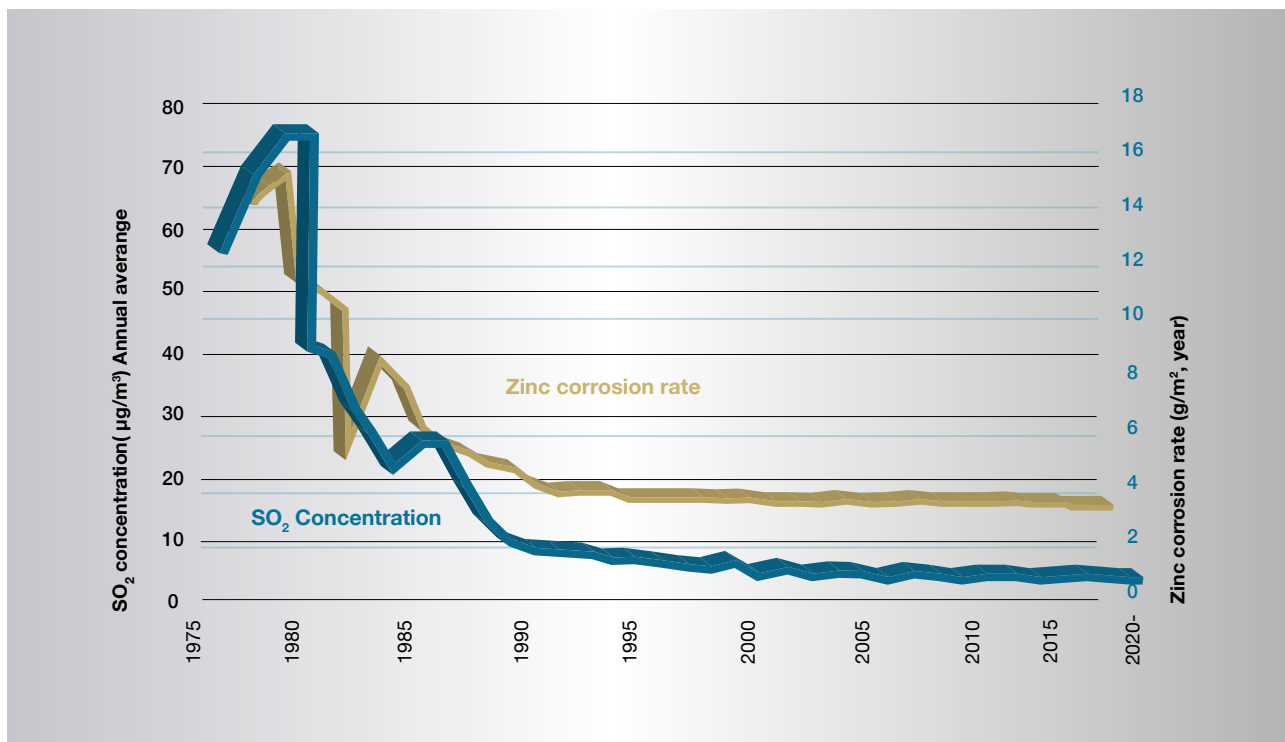
- 15.3 Sinkin biosaatavuus
- 15.4 Käyttöolosuhteet
- 15.5 Sinkin liukeneminen kuumasinkityistä tuotteista
- 15.6 Valmistus ja energiankulutus
- 15.7 Kierrätys
- 15.8 Sinkkipäästöt

16. Ympäristötuoteseloste

- 16.1 Toimialan ympäristötyö
- 16.2 Tuote
 - 16.2.1 Tuotteen sisältö
- 16.3 Pakkaus ja kuljetus
- 16.4 Materiaalin talteenotto ja energian tarve
- 16.5 Valmistus
 - 16.5.1 Päästöt ilmaan
 - 16.5.2 Päästöt veteen
 - 16.5.3 Energiankäyttö
 - 16.5.4 Melu ja terveys
- 16.6 Ympäristöprofiili
 - 16.6.1 Ympäristöohjaus
- 16.7 Sinkki ja ympäristö
- 16.8 Ympäristötuoteseloste

17. Kirjallisuus

1. Korroosio ja korroosion esto



Kuva 1-1. Rikkidioksidipitoisuus ja sinkin syöpyminen Tuusulassa vuosina 1978 - 2020.

Viime vuosina korroosion esiintyminen on merkittävästi vähentynyt sekä Suomessa että muualla Euroopassa. Tämä johtuu monista tekijöistä, mutta huomattavin niistä on ilmakehän pienentynyt rikkidioksidipitoisuus. Lämmitysöljyjen käyttö on osaltaan vähentynyt, ja toisaalta nykyään käytettävien öljyjen rikkipitoisuus on alhaisempi kuin ennen. Kuvasta 1-1 nähdään muutos sinkin syöpymisessä vähentyneiden rikkidioksidipäästöjen seurauksena.

Korroosio määritellään standardin mukaan metallin ja sen ympäristön välillä tapahtuvaksi fysikaalis-kemialliseksi reaktioksi. Reaktio on useimmiten luonteeltaan sähkökemiallinen. Korroosio aiheuttaa tavallisesti vahinkoa metallin toimivuudelle, ympäristölle tai tekniselle järjestelmälle, johon metalli kuuluu. Korrodoituneeseen esineeseen syntyviä vaurioita kutsutaan primäärivaurioiksi ja primäärikorroosiosta muualle aiheutuvia vaurioita sekundäärivaurioiksi. Useimmiten juuri sekundäärivauriot aiheuttavat yksilöille tai yhteiskunnalle suurimmat kustannukset.

Yleensä kaikki epäorgaaniset materiaalit syöpyvät aikaa myöten ja hajoavat stabiileiksi yhdisteiksi tai lähtö-

aineiksi, jalometalleja ehkä lukuunottamatta.

Kun malmista valmistetaan metallia, aineeseen tuodaan energiaa. Metallin edustaa siten korkeampaa energiatilaa kuin malmi. Korroosiossa metalli pyrkii vapauttamaan tämän energian ja palaamaan luonnolliseen pysyvään olotilaansa. Korroosiotuotteet muistuttavat sen vuoksi usein niitä yhdisteitä, joista metalli on kerran valmistettu.

Korkeampi energiatila yksinään ei kuitenkaan riitä korroosion syntymiseen. Teräksen korroosioon - ruostumiseen - tarvitaan tavallisessa ympäristössä sekä hapen että veden läsnäoloa (suhteellinen kosteus > 60 %). Pohjoismaissa vallitsee tällaiset olosuhteet suurimman osan vuotta, mikä tarkoittaa, että korroosioprosessi pysyy käynnissä.

Teräs on aikamme ylivoimaisesti käytetyin metalli. Sen ainoana suurena haittapuolena on monissa ympäristöissä liian suuri korroosionopeus. Siksi teräksestä valmistettujen esineiden ja teräsrakenteiden suojaamisella ruostumiselta on suuri taloudellinen merkitys. Teräksen ruostumista voidaan ehkäistä seuraavilla tavoilla:

- Teräksen seostaminen muilla alkuaineilla. Jos teräkseen lisätään kromia (>13 %), saadaan ruostumatonta terästä, jonka kestävyys ilmastokorroosiota vastaan kasvaa kromipitoisuuden noustessa. Lisäämällä nikkeliä ja molybdeeniä voidaan korroosiokestävyyttä edelleen parantaa. Korkean nikkelpitoisuuden avulla valmistetaan korroosionkestäviä monel- ja Hastelloy-seoksia. Useimmat seokset ovat kuitenkin kalliita verrattuna seostamattomiin tai matalaseosteräksiin. On myös tärkeää tarkistaa, että seokset todella ovat korroosiokestäviä siinä ympäristössä, jolle ne joutuvat alttiiksi.
- Korroosioympäristön muuttaminen vähentämällä suhteellista kosteutta (kosteudenpoisto), kuivaamalla, lämpötilaa nostamalla tai inhibiittien avulla. Viimeksi mainittu on hyvin tavallista nesteissä. Haittana on, että menetelmiä voidaan käyttää vain rajoitetusti.
- Katodinen suojaus käyttämällä nk. uhrautuvia anodeja yhdistettynä ulkoista tasavirtaa. Menetelmää, jossa käytetään uhrautuvia anodeja, voidaan pitää eräänlaisena hallittuna sähkökemiallisena korroosiona, koska siinä tarkoituksella järjestetään metallit niin, että toinen saa syöpyä suojaten toista. Katodinen suojaus on mahdollista vain elektrolyytin, esim. veden tai kostean maan, läsnä ollessa. Menetelmää käytetään suojaamaan mm. laivojen runkoja, laiturirakenteita, öljynporaustaluttoja, säiliöitä, putkijohtoja. Uhrautuvien anodien materiaaleina ovat yleisimmin sinkki, magnesium tai näiden seokset.
- Pinnoitus epäorgaanisilla tai orgaanisilla materiaaleilla kosteuden ja hapen eliminoimiseksi teräspinnalta. Tämä on tavallisin korroosionestomenetelmä. Epäorgaaniset materiaalit voivat olla metalleja, seoksia tai emaleja ja orgaaniset maaleja, bitumituotteita tai muoveja. Joissakin tapauksissa hyviä tuloksia korroosionestossa saavutetaan myös epäorgaanisia ja orgaanisia materiaaleja yhdistämällä, esimerkiksi maalauksella tai muovipinnoitteella sinkkipinnoitteen päällä.

Teräksen pinnoittaminen voidaan teknisesti suorittaa useimmilla metalleilla ja eräillä seoksilla korroosioneston, kulumiskestävyys tai koristepinnoitteen aikaan saamiseksi. Monet metallit ovat kuitenkin kalliita ja/tai hankalakäyttöisiä teräksen pinnoituksessa. Metallit voivat olla soveltumattomia myös siksi, että niiden oma korroosio on suuri tai ne ovat jalompia kuin teräs. Paras vaihtoehto olisi metalli, joka on pinnoituksessa helppokäyttöinen, hyvän korroosiosuojan antava sekä ympäristön kannalta hyväksyttävä.

Oikeastaan vain sinkki ja alumiini täyttävät edellä mainitut kriteerit. Magnesium olisi eräs vaihtoehto, mutta sen oma korroosionopeus on liian suuri ja se on pinnoituksessa erittäin vaikeakäyttöinen. Kadmiumia käytettiin aiemmin jossain määrin lähinnä meriympäristössä, mutta se on kallista ja ympäristösyistä soveltumatonta.

Alumiinilla on edullinen hintatilavuussuhde ja se kestää hyvin useimmissa ympäristöissä. Alumiinilla pinnoittaminen on kuitenkin vaikea, sillä se hapettuu helposti. Siksi vesiliukoiset elektrolyytit eivät sovellu, ja suoja-kaasu on tarpeen metallisoinnissa hapettumisen estämiseksi. Näistä syistä alumiinia käytetäänkin lähinnä yhdessä sinkin kanssa ohutlevyjen pinnoituksessa (Aluzink - 55 % Al, 43,5 % Zn, 1,5 % Si) (Galfan - 5 % Al, 95 % Zn). Alumiiniruisikutusta käytetään myös jossain määrin.

Kuvassa 10-10 esitetty sähkökemiallinen jännitesarja on hyvä apuväline metallien ja metalliseosten korroosiosuojauksen suunnitteluun, kun eri metalleja yhdistetään. Epäjalompi metalli suojaa useimmiten jalompaa katodisen suojauksen ansiosta. Syvällisempi korrosio- ja korroosiosuojauksikysymysten käsittely ei mahdu tämän kirjoituksen puitteisiin. Lisätietoa aiheesta kirjallisuusluettelossa (1, 2, 3).



Kuva 1-2. Vasemmalla kuvassa ruostunut maalattu tiekaide. Vertaa oikealla puolella olevaan kuumasinkittyyn kaiteeseen.

2. Korroosionestomenetelmän valinta

Teräskappaleiden ja -rakenteiden korroosionestomenetelmän valinnassa tulee ottaa huomioon monia teknisiä tekijöitä. On selvítettävä kappaleen tai rakenteen käyttöolosuhteet sekä kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aiheuttamat rasitukset. Tämä koskee erityisesti rakenteita, joita kuljetetaan kauas esim. merikuljetuksina. Rakenteen muoto ja koko sekä mahdollisuudet vaikuttaa sen pintakäsittelyyn ovat myös tärkeitä tekijöitä.

On tärkeää tehdä perusteellinen arvio eri korroosionestovaihtoehtojen taloudellisuudesta. Erityisen tärkeää on, että menetelmän valinta ei perustu yksinomaan sen toteutuksen alkukustannukseen. Taloudellisissa laskelmissa pitää sen sijaan ottaa perustaksi raken-

teen ennakoitun käyttöiän kokonaiskustannukset.

Kokonaiskustannukset sisältävät toteutuksen alkukustannusten lisäksi kustannukset pakkaamisesta, kuljetuksesta, kuljetuksen jälkeisistä korjauksista ja asennuksesta sekä ylläpito- ja ympäristökustannukset. Jos rakenteen ennakoitu käyttöikä on 30 vuotta, 2–3 huollon kustannukset tänä aikana ovat merkittävästi alkukustannuksia suuremmat verrattuna sellaiseen korroosiosuojaukseen, jota ei tarvitse huoltaa. Käyttöiän kokonaiskustannusten arviointi antaa yleensä täysin eri kuvan kuin pelkkien korroosiosuojauksen alkukustannusten tarkastelu.

Korroosiorasitusluokan määrittämiseen voidaan käyt-

Ympäristöluokka	Korroosioriski	Esimerkkejä ympäristöistä	
		Ulkona	Sisätiloissa
C1	Hyvin alhainen		Lämmitetyt rakennukset, joissa on kuiva sisäilma ja merkityksettömiä määriä epäpuhtauksia, kuten toimistot, myymälät, koulut ja hotellit.
C2	Alhainen	Ympäristöt, joissa ilmansaasteiden määrä on vähäinen. Lähinnä maaseutu.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa lämpötila ja kosteus vaihtelevat. Kosteutta tiivistyy vain vähän, ja ilmansaasteiden määrä on vähäinen, esimerkiksi liikuntahallit ja varastot.
C3	Keskimmääinen	Ilmassa on jonkin verran suolaa ja kohtuullisesti saasteita. Kaupungit ja alueet, joilla on jonkin verran teollisuutta. Alueet, joihin rannikko vaikuttaa jonkin verran.	Rakennukset, joissa vallitsee kohtalainen ilmankosteus ja joissa on tietty määrä tuotantoprosesseista peräisin olevia ilmansaasteita, kuten panimot, meijerit, pesulat ja lämmitetyt jäähallit.
C4	Korkea	Kun ilmassa on kohtalaisesti suolaa ja saasteita. Teollisuus- ja rannikkoalueet.	Rakennukset, joissa vallitsee suuri ilmankosteus ja ilmassa on runsaasti tuotantoprosesseista peräisin olevia saasteita, kuten kemianteollisuus, uimahallit, telakat ja lämmittämättömät jäähallit.
C5	Hyvin Korkea	Kun ilmassa on kohtalaisesti suolaa ja saasteita. Teollisuus- ja rannikkoalueet.	Rakennukset, joissa vallitsee suuri ilmankosteus ja ilmassa on runsaasti tuotantoprosesseista peräisin olevia saasteita, kuten kemianteollisuus, uimahallit, telakat ja lämmittämättömät jäähallit.
CX	Äärimmäinen	Teollisuusalueet, korkea ilmankosteus, aggressiivinen ilma, rannikkoalueet, joilla ilma on suolaista.	Rakennukset, joissa kosteutta tiivistyy lähes jatkuvasti ja ilmassa on suuri määrä saasteita.

Kuva 2-1. Esimerkkiympäristöjä eri ympäristöluokissa (4). Valtaosa Suomen ilmastosta kuuluu rasitusluokkaan C2-C3.

tää voimassa olevaa ISO-standardia. Korroosiosuojaus voidaan sitten valita valitun luokan tai ympäristö-tilanteen mukaan. Pitää kuitenkin huomata, että kuvan 2-1 mukaiset luokat ovat käyttöympäristöjä. Viimeistely-, kuljetus- ja asennusympäristöt saattavat aiheuttaa muutoksia korroosiorasitusluokkaan, mikä vaikuttaa myös ruostesuojauksen valintaan.

Koska korroosiosuojauksessa luokissa C3-C5 useimmiten on kysymys maalauksesta tai kuumasinkityksestä, verrataan näiden menetelmien eräitä prosessimuutoksia kuvassa 2-3.

Vertailut ovat luonnollisesti yleisellä tasolla, koska on olemassa lukemattomia erilaisia värejä ja muoveja, joilla usein on täysin erilaiset ominaisuudet. Koska olosuhteet ja vaatimukset vaihtelevat, on vertailu todellisilla parametreilla suositeltavaa.

Tässä yhteydessä pitää myös huomioida, että vaikka sinkkiä ja maalia käytetään pinnoitteena samaan tarkoitukseen eli suojaamaan ruosteelta, ne vaikuttavat täysin eri tavalla. Sinkkipinnoite korrodoituu pinnalta teräkseen päin ja antaa katodisen suojan, jolloin viat syntyvät pinnoitteeseen. Sinkkipinnoitteen ja teräksen väliin ei synny lainkaan ruostetta.

Maalipinnoite sen sijaan tuhoutuu useimmiten siten, että ruostetta muodostuu maalin ja teräksen rajakerrokseen. Maalipinta ei anna katodista suojaa, ja ruoste saattaa tunkeutua syvemmälle pinnoitteen alla, kun pinnoite on päässyt vahingoittumaan.

Syövyttävyyss- luokka	Pintayksikön massahäviö ja paksuuden väheneminen (1 vuoden kestävä altistuminen)			
	Teräs		Sinkki	
	Massahäviö (g/m ²)	Paksuuden väheneminen (µm)	Massahäviö (g/m ²)	Paksuuden väheneminen (µm)
C1	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2	> 10 – 200	> 1,3 – 25	> 0,7 – 5	> 0,1 – 0,7
C3	> 200 – 400	> 25 – 50	> 5 – 15	> 0,7 – 2,1
C4	> 400 – 650	> 50 – 80	> 15 – 30	> 2,1 – 4,2
C5	> 650 – 1500	> 80 – 200	> 30 – 60	> 4,2 – 8,4
CX	> 1500 – 5500	> 200 – 700	> 60 – 180	> 8,4 – 25

Kuva 2-2. Ympäristöluokat virallisen ISO – standardin mukaan (4).

¹Korroosionopeus on yleensä korkeampi altistumisen alussa.

Vaikuttava tekijä	Maalaus	Kuumasinkitys
Esikäsitteily	Standardin (SFS) mukaan suihkupuhdistusaste on oltava Sa 2 1/2. Huonosti tehty puhdistus voi alentaa pinnoitteen kestoikää 60–80 %. Esikäsitteilyn tarkastuksella on ratkaiseva merkitys.	Teräsrakenteet puhdistetaan peittaamalla ne laimeassa hapossa. Jos teräksen pintaan jää epäpuhtauksia, niin sinkki ei tartu siihen. Tarkastus esikäsitteilyssä ei ole tarpeen.
Muutokset tuotannossa	Maalin valinnalla, seossuhteilla, sekoituksella ja notkeudella on suuri merkitys.	Pienet muutokset vaikuttavat vain vähän tai ei ollenkaan pinnoitteen muodostumiseen.
Pinnoitus	Pinnoitteen rakenne ja samankaltaisuus riippuvat pinnoitusmenetelmästä. Tarkastus eri vaiheissa on tärkeää. Suihkupuhdistetut pinnat hapettuvat nopeasti, joten ne täytyy maalata nopeasti puhdistuksen jälkeen.	Sinkkipinnoite muodostuu sinkin ja teräksen välisen reaktion kautta. Reaktio tapahtuu fysikaalis-kemiallisten lakien mukaan.
Pinnoitusolosuhteet		
1. Lämpötila	Hyvään tulokseen on vaikea päästä, jos lämpötila on alle + 10°C tai yli + 30° C.	Ulkoilman lämpötilan vaihtelut eivät vaikuta pinnoitukseen.
2. Kosteus	Kaste ja kondenssi estävät maalauksen. Maalaus on myös kiellettyä, jos suhteellinen kosteus on yli 80 %.	Ei vaikutusta.
3. Ilman puhtaus	Höyry, savu, kaasu, pöly tai muut epäpuhtaudet huonontavat maalaustulosta.	Ei vaikutusta.
4. Teräksen laatu	Ei vaikutusta	Teräksen pii- ja fosforipitoisuus vaikuttavat muodostuvaan kerrospaksuuteen ja ulkonäköön.
Kovettumisaika	Riippuu maalityypistä, pinnoitusolosuhteista ja voi vaihdella muutamasta tunnista jopa muutamiin viikkoihin ennen kuin lopullinen kovettuminen on saavutettu.	Pinnoite on valmis muutaman minuutin kuluttua padasta noston jälkeen.
Muodon muutos	Ei ole.	Joissakin tapauksissa muokkaus- ja hitsausjännitykset voivat laueta ja aiheuttaa muodonmuutoksia.
Tarkastus	Hyvän laadun takaamiseksi tarkastus on tehtävä sekä esikäsitteilyn että maalauskerrosten välillä. Lisäksi valmiin pinnoitteen kerrospaksuus on tarkastettava.	Silmämääräinen tarkastus ja pinnoitteen paksuuden mittaaminen ovat yleensä riittäviä.
Pinnoitteen ominaisuudet		
1. Paksuus	Suuri merkitys kestoikään. Riippuvainen esikäsitteilystä ja kerrosten lukumäärästä. Tarkastus jokaisen kerroksen välillä on tärkeää.	Kestävyys verrannollinen pinnoitteen paksuuteen. Standardin mukainen vähimmäiskerrospaksuus saavutetaan normaalilla teräksen ja sinkin välisellä reaktiolla. Paksumpiin ja runsaammin piitä sisältäviin teräksiin tulee paksumpi pinnoite.
2. Tarttuvuus	Riippuu esikäsitteilystä, maalivalinnasta, esikäsitteilyn ja pohjamaalauksen välisestä ajasta ja eri kerrosten kuivumisajoista.	Sinkki kiinnittyy metallurgisesti teräkseen.
3. Tasaisuus	Teräviin kulmiin tulee ohuempi kerros kuin tasopinnoille. Samoin reikiin, kapeisiin pintoihin tai "katvealueelle" saattaa tulla ohuempi pinnoite.	Uputusmenetelmällä saadaan tasainen pinnoite. Teräviin kulmiin tulee vielä noin 50 % paksumpi pinnoite.
Kuljetuksen ja käsittelyn aiheuttamat viat	Yleensä suuret ja voivat vaatia korjauksia sekä pohjamaalauksiin että pintamaalaukseen.	Vähäisiä. Pinnoitteella on hyvä mekaaninen kestävyys. Pieniä vikoja ei tarvitse korjata. Suuret viat korjataan ruiskusinkityksellä tai maalaamalla sinkkipölymaalilla.

3. Sinkitysmenetelmiä

3.1 Kuumasinkitys

Rasvasta, valssihilseestä, ruosteesta ja muista epäpuhtauksista puhdistetut teräskappaleet upotetaan sulaan sinkkiin. Tällöin pinnalle muodostuu pinnoite, joka koostuu eriasteisista rautasinkkiseoksista sekä pinnalla olevasta puhtaasta sinkkikerroksesta. Tämä on pitkäaikaisen korroosiosuojauksen käytetyin menetelmä, ja sitä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.2 Sähkösinkitys, elektrolyttinen sinkitys

Teräksen pinnalta poistetaan ensin rasva, minkä jälkeen se puhdistetaan valssihilseestä ja ruosteesta peittaamalla. Esikäsitelyä täydennetään usein myös sähköisellä rasvanpoistolla. Sen jälkeen esineet upotetaan sinkkisuolaliuokseen (elektrolyytti) ja kytketään katodina tasavirtalähteeseen. Anodeina käytetään puhtaasta sinkistä (elektrolyttisinkki 99,995 %) tehtyjä levyjä tai palloja. Elektrolyyttiliuos voi olla hapanta, neutraalia tai emäksistä ja sinkkisuolan tyyppi määräytyy sen mukaisesti.

Kun virta kytketään, sinkki liukenee anodista ja kulkeutuu sinkki-ioneina katodille, jossa se saostuu teräksen pinnalle. Virrantuotolla, joka tarkoittaa sinkin saostamiseen kuluvaa osaa virrasta, on suuri merkitys vetyhaurautteen taipuvaisille teräksille. Tämä johtuu siitä, että loppuosa virrasta pääasiassa tuottaa vetyä.

Isot kappaleet ripustetaan yleensä työkaluun (ripustimet, kiinnittimet jne), kun taas pienet esineet (massatuotteet = ruuvit, mutterit, helat jne.) käsitellään rummussa.

Saostuneen kerroksen rakenne on hyvin hienokiteinen, ja se kiinnittyy teräspintaan vain mekaanisesti (kuva 3-1). Standardien mukaiset kerrospaksuudet ovat 3, 5, 8, 12 ja 25 mikrometriä (μm). Normaalisti käytetään 5–8 μm . Ohuempia kerroksia esiintyy pääasiassa massatavaroissa, kun taas paksumpia kerroksia (> 20 μm) voi-

daan pääsääntöisesti saada aikaan vain muodoiltaan yksinkertaisiin tuotteisiin, esim. lankoihin. Yli 15 μm kerrospaksuuksilla on useimmiten taloudellisempaa käyttää kuumasinkitystä. On myös huomioitava, että sähkösinkityksessä kerrospaksuus saattaa vaihdella eri paikoissa esineen pinnalla riippuen esineen muodosta ja anodin sijainnista. Sisäpuolisessa sinkityksessä tai katveeseen jäävissä osissa joudutaan käyttämään apuanodeja.

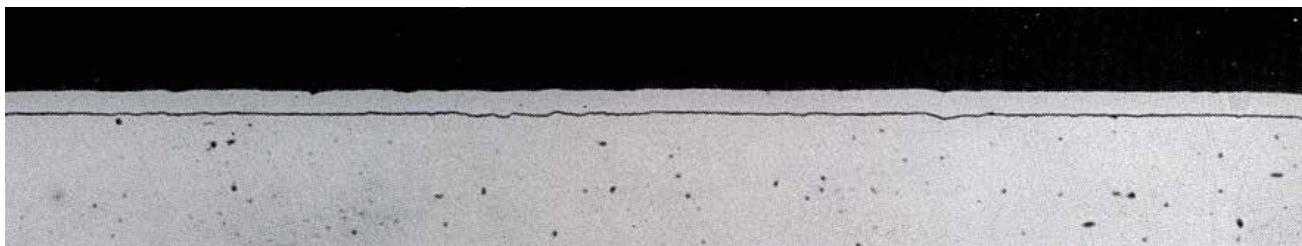
Sinkkipinnoitteen pinta on hyvin tasainen, ja sen metallikiilto on ”hopeanhoitoinen”. Lisäämällä elektrolyttiin ns. kiiltosisäaineita saadaan aikaan erittäin kiiltäviä pinnoitteita. Yleensä sähkösinkityt esineet kromatoidaan varastoinnin ja kuljetuksen aikana tapahtuvan korroosion estämiseksi. Kromatointikerros on väriltään sininen, keltainen tai vihreä riippuen kerroksen paksuudesta ja siitä, sisältääkö kromatointikylypy 3- vai 6-arvoista kromia. 6-arvoisen kromin käyttö kuitenkin vähenee jatkuvasti ja lopetetaan tulevaisuudessa kokonaan ympäristösyistä.

Sähkösinkittyjä esineitä saa käyttää ulko-olosuhteissa vain hyvin lyhyitä aikoja. Ulkona käytettävät esineet pitää kuumasinkitä. Lisätietoja saa standardista SFS-EN ISO 2081

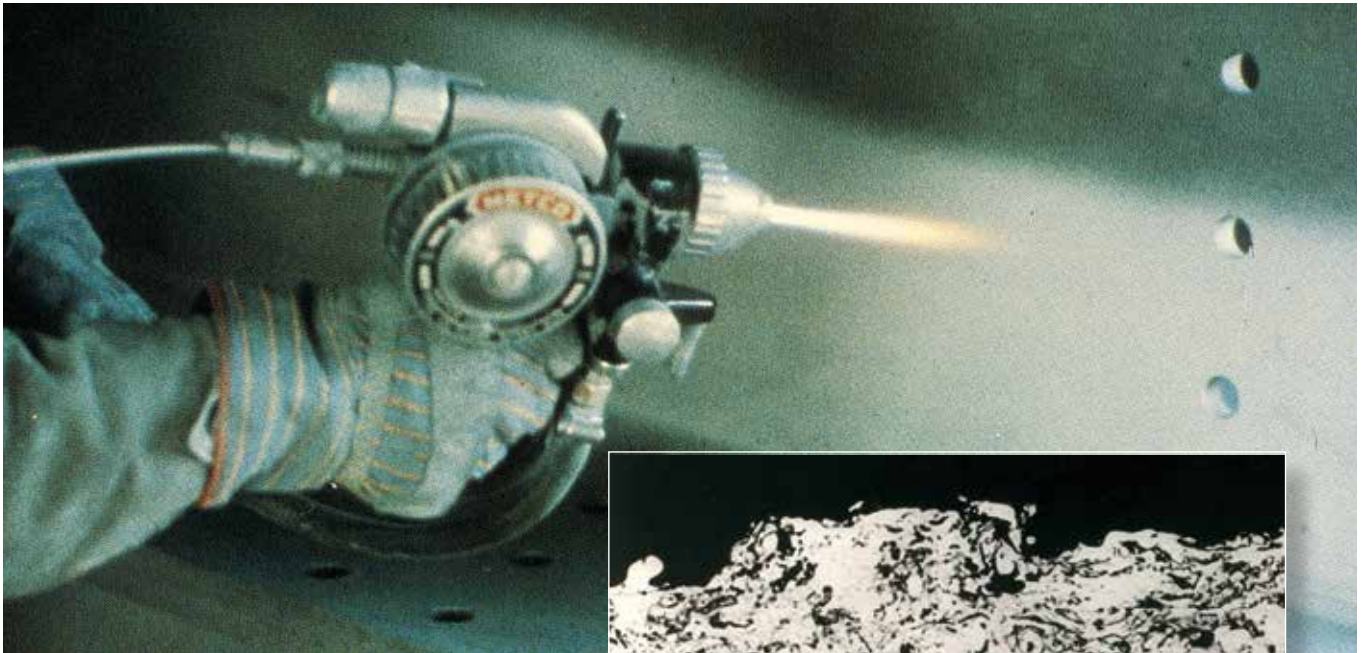
3.3 Ruiskusinkitys

Teräksen pinta puhdistetaan huolellisesti suihku-puhdistamalla voimassa olevan standardin (SFS-EN ISO 22063) mukaan vähintään asteeseen Sa 2 1/2. Langan tai jauheen muodossa oleva sinkki syötetään sinkkiruiskuun ja sulatetaan kaasuliekillä tai valokaarella (kuva 3-2). Pieninä pisaroina oleva sula sinkki puhalletaan paineilman avulla teräksen pintaan. Tarttuminen on täysin mekaanista, ja pinnoite on hieman huokoinen ja pinnaltaan karhea. Pinta soveltuu hyvin jälkeenkäsitelmäksi, mikä parantaa korroosiosuojaa entistään (kuva 3-3).

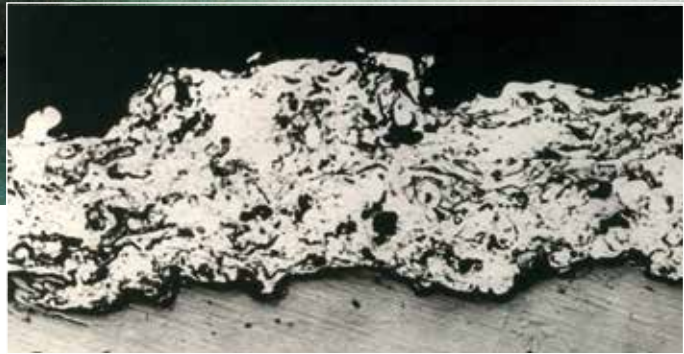
Kerrosvahvuutta voidaan vaihdella välillä n. 30– 300 μm .



Kuva 3-1. Poikkileikkaus sähkösinkitystä pinnoitteesta..



Kuva 3-2. Ruiskusinkitys.



Kuva 3-3. Poikkileikkaus ruiskusinkitystä pinnoitteesta.

Jotta saataisiin yhtä hyvä korroosiosuoja kuin kuumasinkityksellä, pitää ruiskutetun kerroksen olla n. 20 % paksumpi kuin kuumasinkityksessä. Menetelmä on sopiva suurehkoille esineille, joiden muoto ei ole kovin monimutkainen. On huomioitava myös, että putkien sisäpuolinen pinnoittaminen on vaikeaa. Ruiskusinkitys soveltuu myös kuumasinkittyjen esineiden pinnoitteen korjaukseen kohdissa, joissa pinnoite on vaurioitunut hitsauksen tai mekaanisen rasituksen seurauksena. Katso myös voimassa olevat standardit (SFS-EN ISO 22063) sekä viite 6.

3.4 Sherardisointi

Peittaamalla tai suihkupuhdistamalla puhdistetut teräskappaleet panostetaan yhdessä sinkkijauheen ja hiekan kanssa rumpu-uuniin, jota pyörrinän aikana lämmitetään siten, että lämpötila jää hieman sinkin sulamislämpötilan alapuolelle. Tietyin pitoajan kuluessa pyörrinän aikana rauta ja sinkki reagoivat keskenään muodostaen rautasinkkiseoksen teräksen pinnalle.

Sherardisoimalla tehdyt pinnoitteet ovat suhteellisen ohuita (15–40 µm) ja väriltään tumman- tai ruskeanharmaita. Pinnoitteen tartunta on hyvä, ja sen kerrospaksuus on hyvin tasainen jopa muodoltaan monimutkaisilla esineillä. Tätä menetelmää voidaan käyttää suurin piirtein samoihin tarkoituksiin kuin sähkösinkitystäkin. Distek Thermal Diffusion on sherardisoinnin pohjalta

kehitetty menetelmä. Tässä tekniikassa prosessilämpötila on 320–450 °C.

Nykyään on saatavilla kansainvälisiä standardeja, joissa käsitellään sherardisointia. Aiemmin sovellettiin englantilaista standardia. Pohjoismaissa tätä menetelmää käytetään vähän.

3.5 Mekaaninen sinkitys

Rasvasta puhdistetut esineet panostetaan yhdessä lasikuulien kanssa rumpuun, jossa tapahtuu ensiksi hapan puhdistuskäsittely ja sen jälkeen kuparointi. Rumpuun panostetaan sinkkijauhe ja aktiivisia kemikaaleja.

Normaali kerrospaksuus on 12-15 µm, mutta menetelmällä on mahdollista saada aikaan paksumpiakin kerroksia, n. 75 µm:n paksuisia. Pinnoitteet ovat hyvin tasaisia jopa monimutkaisissakin kohdissa. Pinta on himmeä. Vetyhaurausvaaraa ei ole, joten myös karkaistuja teräksiä voidaan käsitellä. Tämäntyyppisille pinnoitteille ei ole suomalaista tai kansainvälistä standardia.

3.6 Maalaus sinkkipölymaaleilla

Kuten ruiskusinkityksessäkin tulee esineet puhdistaa huolellisesti suihkupuhdistuksella - vähintään asteeseen Sa 2 1/2 (SFS-ISO 8501). Kaavinnalla tai teräsharjauksella ei saada tyydyttävää tulosta.

Sinkkipölymaali koostuu hienojakoisesta sinkkijauheesta sideaineen ollessa orgaaninen tai epäorgaaninen. Sekä yksi- että kaksikomponenttimaaleja käytetään. Kuivan maalipinnan sinkkipitoisuuden tulee olla vähintään 92 paino-%, mikä vastaa 62 tilavuus-%. Maali voidaan levittää joko siveltimellä tai ruiskuttamalla.

Sinkkipölymaalilla maalaamista kutsutaan joskus ”kylmägalvanoinniksi”. Ilmeisesti halutaan antaa vaikutelma että sinkkipölymaaleilla saadaan aikaan laadultaan samanlaisia pinnoitteita kuin kuumasinkitykselläkin.

Asia ei kuitenkaan ole näin, kuten ilmenee kuvasta 3-4.

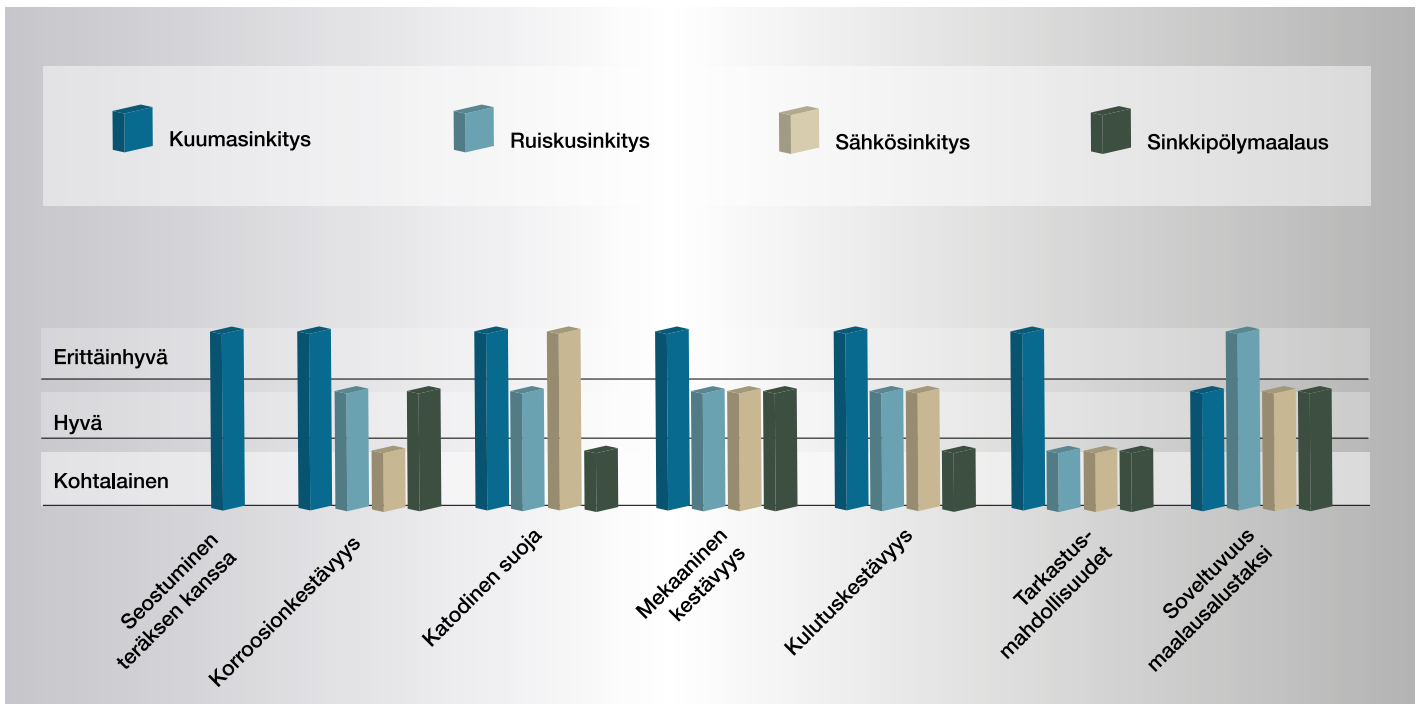
Nimikettä ”kylmägalvanointi” on käsitelty oikeudellisesti Saksassa (FR) 1. Zivilsenats des Bundesgerichtshofes, joka tuomiossaan 12. 3. 1969 on todennut että ”kylmägalvanointi” on luvaton tavaranimike.

Maalaus sinkkipölymaalilla on maalausmenetelmä eikä metallipinnoitusmenetelmä.

Eri tavoin aikaan saatujen sinkkipinnoitteiden ominaisuudet verrattuna toisiinsa ilmenevät kuvasta 3-5.



Kuva 3-4. Poikkileikkaus sinkkipölymaalatusta pinnoitteesta.



Kuva 3-5. Eri sinkkipinnoitteiden ja sinkkipölymaalain ominaisuuksien vertailu. Mekaaninen sinkitys ei ole mukana vertailussa, mutta sitä voidaan verrata lähinnä sähkösinkittyyn pinnoitteesen.

4. Kuumasinkitys

Ranskalainen kemisti Melouin havaitsi jo vuonna 1741, että sinkki pystyy suojaamaan terästä korroosiolta. Menetelmää ei käytännössä juuri käytetty ennen kuin ranskalainen Sorel alkoi käyttää ammoniumkloridia juoksuteaineena. Hän jätti ensimmäisen kuumasinkitystä koskevan patentihakemuksensa 10.5.1837. Sorelin patentoimaa menetelmää käytetään pääpiirteissään vielä nykyäänkin.

Patenttihakemuksensa lisäyksessä heinäkuussa 1837 Sorel kutsui menetelmää ”galvanoinniksi”. Hän viittasi sillä galvaaniseen suojaan, joka syntyy, jos sinkkipinnoite vioittuu. Vauriokohdassa teräs toimii parin katodina ja saa siten suojan korroosiota vastaan. Nimeä on sittemmin alettu käyttää myös muista teräksen sinkkipinnoitusmenetelmistä, ja sillä viitataan myös metallin sähkösaostukseen yleensä. Sekaannuksen välttämiseksi sulaan sinkkiin upottamista pitää tästä syystä kutsua kuumasinkitykseksi (kuva 4-1)



Kuva 4-1. Kuumasinkitys.

4.1 Kuumasinkityksen edut ja rajoitukset

Esimerkkeinä eduista voidaan mainita:

- Alhainen hinta, alhaiset vuosikustannukset.
- Sinkkipinnoitteen pitkä kestoikä. Usein on niin, että rakenteen käyttöaikana ei tarvita muuta korroosionestokäsittelyä.
- Pintakäsittely suoritetaan kuumasinkityslaitoksissa, jotka takaavat virheettömän laadun.
- Sinkkipinnoitteen laatu ei ole riippuvainen kä-

sittelyhetkellä vallitsevasta säästä.

- Saadetaan tasainen ja laadullisesti hyvä pinnoite myös vaikeapääsyisille pinnoille.
- Saadetaan paksumpi pinnoite teräviin nurkkiin ja kulmiin kuin sileille pinnoille.
- Sinkkipinnoite kestää hyvin mekaanista rasitusta esim. kuljetuksissa, uudelleenlastauksissa ja asennuksessa. Vauriot näissä tapauksissa ovat harvinaisia. Vain harvoin on tarvetta paikata pinnoitetta asennuspaikalla.
- Sinkkipinnoite suojaa terästä katodisesti vauriokohdissa.
- Kuumasinkittyä terästä voidaan hitsata kaikilla tavallisilla hitsausmenetelmillä.
- Tarkastus yksinkertaista ja nopeaa.

Esimerkkeinä rajoituksista voidaan mainita:

- Kuumasinkitystä ei voida suorittaa asennuspaikalla, vaan se on tehtävä aina kiinteässä laitoksessa.
- Sinkkipinnoitteen väriä voidaan muuttaa vain maalaamalla.
- Sinkityslaitoksen altaat rajoittavat kappaleen mittoja, joten suuret kappaleet pitää koota jälkikäteen hitsaamalla tai pulttiliitoksilla.
- Kylmämuovattujen pinnat, esim. levyt tai kapeat palkit, voivat muuttaa muotoaan sinkkilylyn lämpövaikutuksen takia.
- Sinkkipinnoitettu teräs saattaa vaatia erilaisen hitsaustavan kuin pinnoittamaton teräs. Hitaussavun hengittäminen aiheuttaa sinkkikuumeen vaaran.

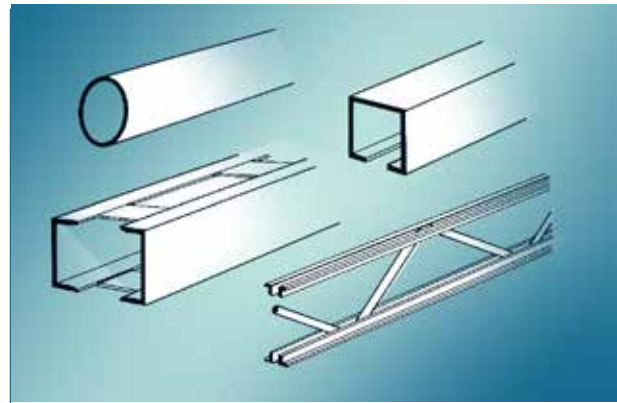
4.2 Työn suoritus

Jos teräspinnoilla on maalia, esim. merkintämaalia, tai hitsauskuonaa, täytyy nämä epäpuhtaudet ensin poistaa mekaanisesti esim. suihkupuhdistamalla tai hiomalla. Valukappaleiden pinnalta poistetaan muottihiekka myös suihkupuhdistuksella (teräsraepuhallus). Rasva, öljy ja noki poistetaan tavallisesti emäksisellä rasvanpoistoliuksella. Vedellä tapahtuvan huuhtelun jälkeen poistetaan ruoste ja valssihilse pinnoilta peittaamalla teräkset laimeassa suola- tai rikkihapossa. Tavallisesti käytetään suolahappoa.

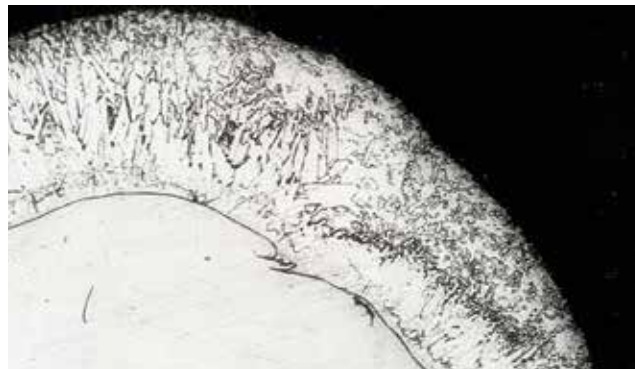
Ennenkuin esine upotetaan sulaan sinkkiin, se on käsiteltävä juoksuteaineella. Sen tehtävänä on poistaa oksideja sekä teräksen että kyllyn pinnalta siten, että teräs ja sinkki pääsevät metalliseen kosketukseen keskenään. Juoksutetta voidaan lisätä kahdella eri tavalla,

joita kutsutaan märkä- ja vastaavasti kuivamenetelmäksi. Menetelmillä saadaan aikaan laatu- ja korroosionesto-ominaisuuksiltaan samanarvoisia pinnoitteita.

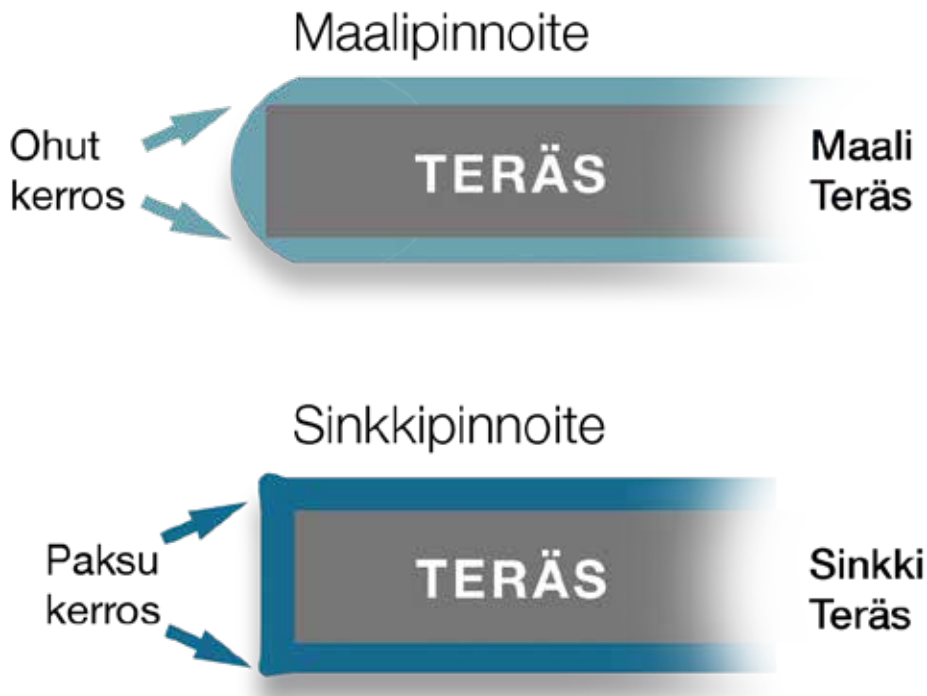
Märkämenetelmässä asetetaan juoksutekylpy - ammoniumkloridi - suoraan sinkkipadan pinnalle. Kosteat teräskappaleet upotetaan sinkkipataan juoksutekeroksen läpi ja nostetaan ylös ilman juoksutetta olevalta puolelta. Kuivamenetelmässä esineet upotetaan peittauksen ja vesihuuhtelun jälkeen juoksutekylpyyn, sinkki-ammonium-kloridiliuokseen, minkä jälkeen kappaleet kuivataan. Esineiden pinnoille jää tällöin ohut juoksutesuolakkerros. Upotus sulaan sinkkiin tapahtuu ilman padan pinnalle lisättyä juoksutetta. Ennen esineiden upotusta ja nostoa sulasta sinkistä puhdistetaan kylvyn pinta oksideista ja juoksutejäänteistä. Esine voidaan jäähdyttää vedessä tai ilmassa, jonka jälkeen se on valmis jäkipuhdistukseen, tarkastukseen ja lastaukseen.



Kuva 4-2. Esimerkkejä profileista ja rakenteista, joissa on mekaanisin puhdistusmenetelmin vaikeapääsyisiä pintoja. Kuumasinkityksellä tulee kaikille pinnoille yhtä hyvä pinnoite.

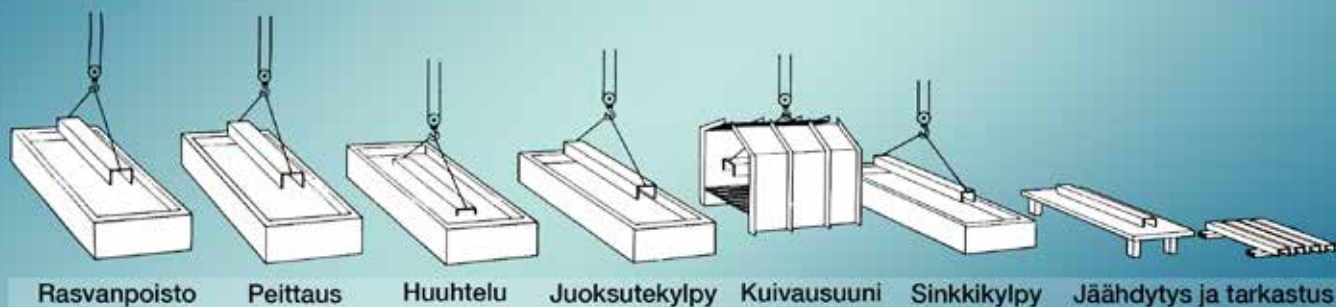


Kuva 4-3. Poikkileikkaus kuumasinkityn ruuvin kierteen harjasta (5 min, 460° C). Huomaa, että pinnoite harjalla on hieman paksumpi kuin kyljessä.



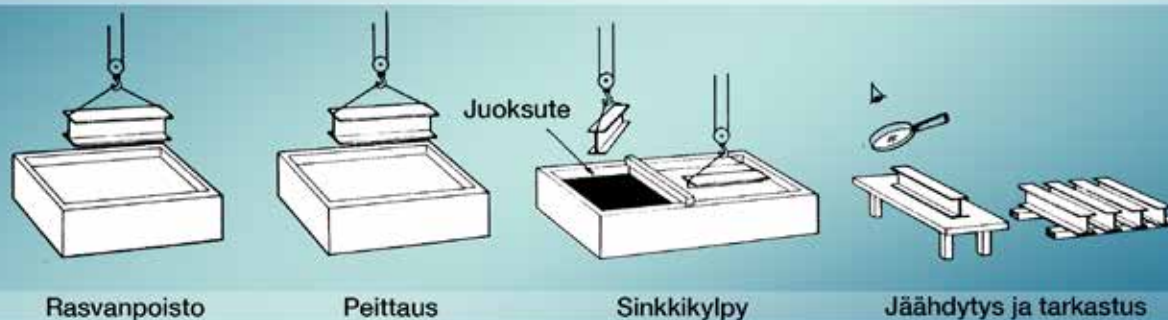
Kuva 4-4. Maalikerroksista tulee ohuempia kulmien ja terävien reunojen kohdalla. Sinkkipinnoitteista tulee sitä vastoin näissä kohdissa paksumpi.

Kuivamenetelmä



Kuva 4-5. Kuumasinkityksen kuivamenetelmän toimintaperiaate. Kappaleet saatetaan huuhdella rasvanpoiston ja peittauksen välillä.

Märkämenetelmä



Kuva 4-6. Kuumasinkityksen märkämenetelmän toimintaperiaate. Kappaleet saatetaan huuhdella rasvanpoiston ja peittauksen välillä.

4.2.1 Pientavaran kuumasinkitys – linkous

Pikkuosat kuten naulat, ruuvit, mutterit, aluslevyt, helat jne. puhdistetaan aikaisemmin kuvatulla tavalla. Kuivamenetelmän mukaisen juoksutekäsittelyn jälkeen osat laitetaan reikäkoriin ja upotetaan sulaan sinkkiin. Ylösnoston jälkeen kori asetetaan erilliseen linkoon tai lingotaan heti kylvyn yläpuolella, ks. kuva 4-7. Kiertoliikkeen (n. 800 kierr./min) ansiosta pinnoitteen pinnalla oleva ylijäämäsinkki sinkoaa pois, jolloin pinnat jäävät tasaisiksi ja hienoiksi. Uputus tapahtuu yleensä korkeassa lämpötilassa (540–560 °C), jolloin sinkkikerroksesta tulee hieman ohuempi ja mattapintaisempi kuin silloin, kun esineet upotetaan yksitellen matalassa lämpötilassa (450–460 °C).

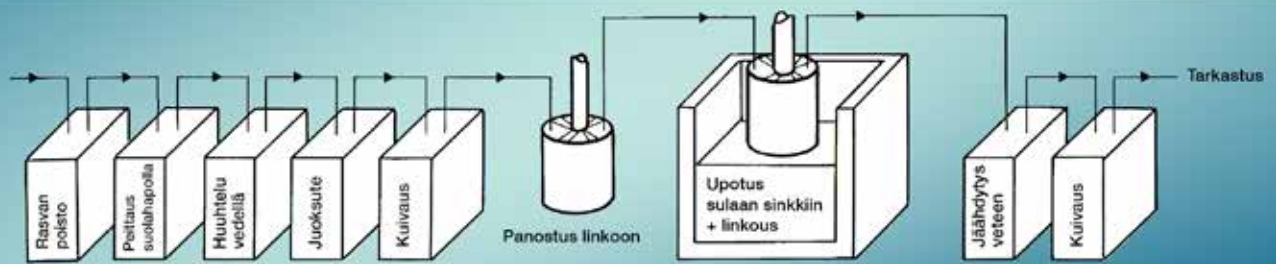
4.2.2 Lanka ja putkisinkitys

Langat, kapeat nauhat ja putket kuumasinkitään kuiva- tai märkämenetelmällä - tai niiden yhdistelmällä - jatkuvatoimisissa laitoksissa. Heti sinkkikylvystä nostamisen jälkeen pyyhitään (lanka) tai puhalletaan (putki) ylimääräinen sinkki pois pinnoilta. Näin niihin ei jää epätasaisuuksia. Sinkkipinnoitteen paksuutta säädetään pyyhkimis- tai puhallusmenetelmällä. Lisätietoja standardissa SFS 3314. Teräsputket. Kuumasinkkipinnoitteet 1980.

4.2.3 Ohutlevyn kuumasinkitys

Ohutlevyt kuumasinkitään jatkuvatoimisilla tuotantolinjoilla. Perusmateriaalina on kylmävalssattu levy, joka hitsataan jatkuvaksi nauhaksi.

Kuumasinkitys - linkolinja



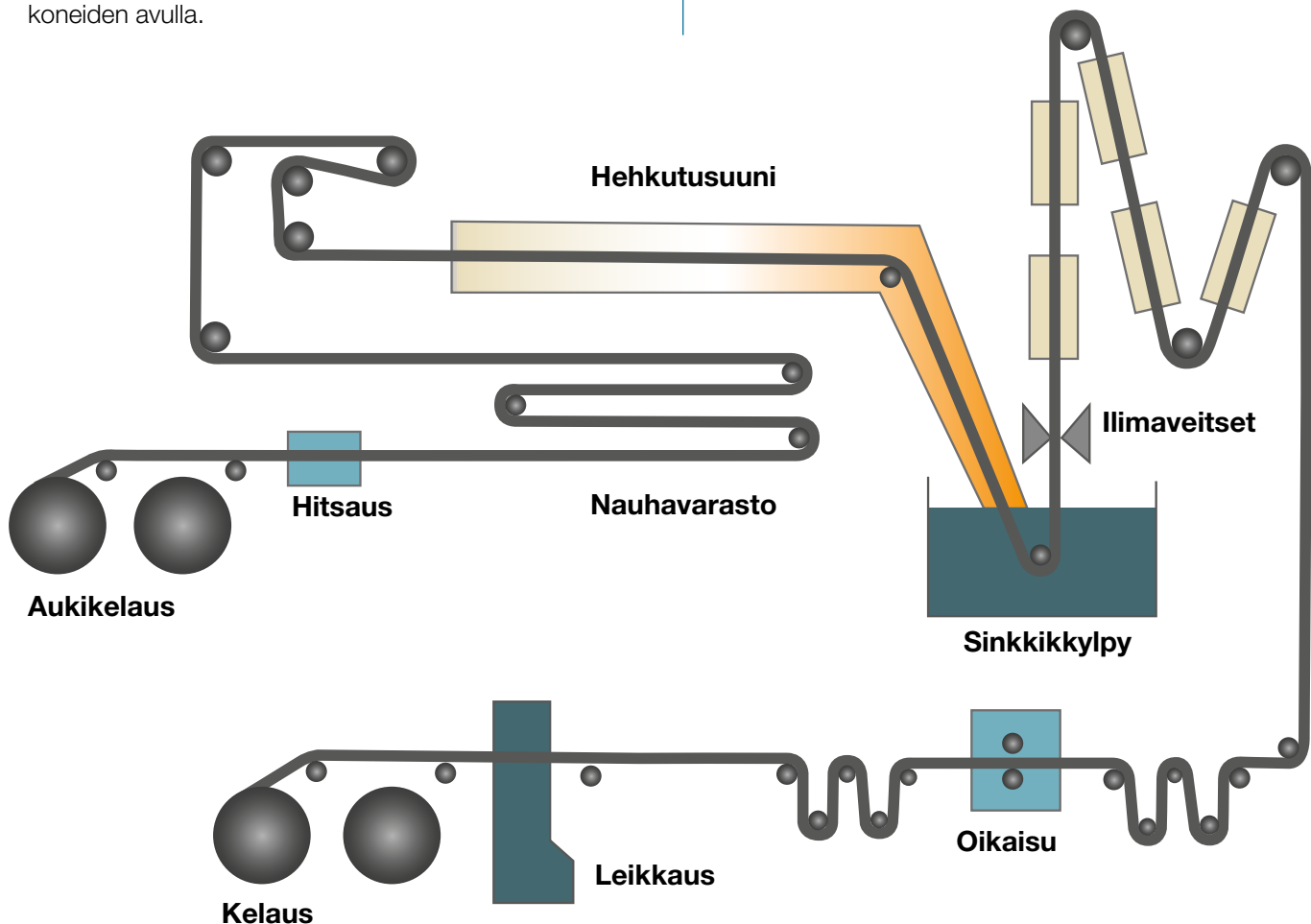
Kuva 4-7. Korkeassa lämpötilassa tapahtuvan kuumasinkityksen ja siihen liitetyn linkouksen toimintaperiaate. Kappaleet saatetaan huuhdella rasvanpoiston ja peittauksen välillä.

Rasvanpoiston jälkeen nauha peitataan tai hapetetaan. Sen jälkeen pinnan oksidit poistetaan pelkistyksellä 950°C:ssa. Samanaikaisesti tapahtuu teräksen pehmennyshehkus. Nauhan pinta on sen jälkeen metallisen puhdas ja menee suojakaasussa suoraan sinkkikylpyyn.

Kylvystä nauha tulee kohtisuoraan ylös ja kulkee ns. ilmaveitsien välistä. Suuttimista purkautuva ilmasuihku pyyhkii nauhan pinnasta ylimääräisen sinkin takaisin pataan ja jättää siihen halutun kerrospaksuuden. Pak-suuden mittaaja ja ilmaveitsien ohjaus tapahtuu tietokoneiden avulla.

Jäähdytyksen, oikaisun ja valkoruosteenestokäsittelyn jälkeen nauha johdetaan joko arkkileikkaukseen tai rullakelaukseen tai toimitetaan muovipinnoituslinjalle, maalattavaksi ja/tai profiloituihin.

Ohutlevyt sinkitään joko niukkaseosteisella, matalaseosteisella tai runsasseosteisella sinkillä. Tärkein seostusaine on alumiini. Tyypillisiä alumiinilisäysten pitoisuuksia ovat: 0,4 % niukkaseosteinen, 5 % matalaseosteinen ja 55 % runsasseosteinen. Kauppanimiä on monia. Matalaseosteisista voidaan mainita Galfan ja runsasseosteisista Aluzink tai Galvalume.



Kuva 4-8. Ohutlevyn jatkuvatoiminen kuumasinkitys.

5. Reaktiot raudan ja sinkin välillä

5.1 Kerroksen rakenne

Sulan sinkin lämpötila tavallisessa kuumasinkityksessä on noin 460°C. Pienten osien sinkityksessä kuten helat, ruuvit, mutterit ja aluslevyt, käytetään n. 550-560°C:n lämpötiloja linkokäsittelyn helpottamiseksi. Yli 470°C:n lämpötiloissa on välttämätöntä käyttää keraamisesta materiaalista valmistettua sinkkipataa. Alemmissä lämpötiloissa käy teräspata.

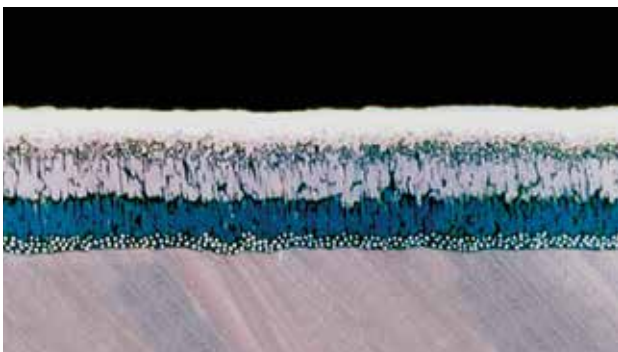
Kun teräs joutuu kosketuksiin sulan sinkin kanssa, tapahtuu metallien välillä reaktio, jossa rauta ja sinkki muodostavat keskenään yhdisteitä. Pinnote muodostuu erilaisista rautasinkkifaaseista, joiden rautapitoisuus vähenee asteittain pintaa kohti. Nostettaessa esine sulasta sinkistä tarttuu sen pinnalle vielä puhdas sinkki-kerros. Kaaviokuvassa on esitetty tällaisen pinnoitteen rakenne. Kuva 5-1.

Pinnoitteen paksuus ja ulkonäkö määräytyvät reaktiossa ja sitä seuraavassa jäähdytysvaiheessa. Lukuisat muuttujat voivat vaikuttaa reaktion kulkuun. Näistä teräksen koostumuksella on suuri merkitys, mutta myös teräksen pinnalla (rakenne, raekoko, jännitykset, epätasaisuudet), sulan sinkin koostumuksella ja lämpötilalla, upotusajalla jne. on vaikutusta reaktioon.

5.2 Alumiinilla tiivistetyt teräkset

Tähän ryhmään luetaan teräkset, joiden piin ja fosforin yhteenlaskettu pitoisuus on alle 0,03 %.

Tiivistämättömien ja alumiinilla tiivistettyjen teräksien kuumasinkityksessä kiinnittyvät rauta-sinkkifaasit tiiviisti teräkseen, ks. kuva 5-2. Täten sulan sinkin kon-

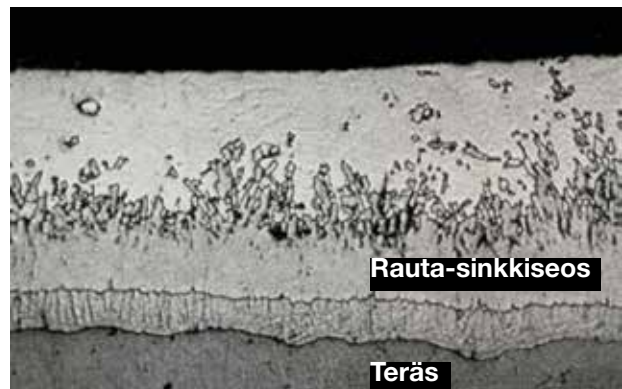


Kuva 5-1. Kaaviomainen poikkileikkaus sinkkikerroksen muodostumisesta. Ylin eta-faasi, jonka koostumus on 0,3 % Fe, zeta-faasi (5,8–6,7 % Fe), delta-faasi (7–11 % Fe) ja gamma-faasi (21–28 % Fe).

takti teräspintaan estyy. Reaktio voi silloin tapahtua ainoastaan raudan ja sinkin välisenä diffuusioreaktiona. Tuloksena on, että reaktio- ja kasvunopeus pienenevät ja pinnoitteesta tulee suhteellisen ohut. Pinnoitteen rakenne muistuttaa sen vuoksi kaaviokuvaa, kuva 5-1 ja kuva 5-2.

Kun sinkki jähmettyy uloimmassa kerroksessa, pinnasta tulee sileä ja sinertävän metallinkiiltainen. Joissakin tapauksissa, erityisesti ohutlevyissä, sinkki voi jähmettyä satunnaisesti suuntautuvina kiteinä, jotka muodostavat pintaan kiteytymiskuvioita eli "sinkkikukkia".

Tämä kukkakuvio on vain erityismuoto kiteytymisestä, joka riippuu mm. jähmettymisnopeudesta, eikä täten ole merkki kuumasinkityksen hyvästä tai huonosta laadusta. Kukkakuvioilla ei ole myöskään mitään merkitystä sinkkipinnoitteen korroosionkestävyyteen. Ohutlevyjen jatkuvatoimisessa kuumasinkityksessä voidaan kukkakuvion kokoa valvoa. Tämä ei ole mahdollista kappaletavaroiden kuumasinkityksessä.

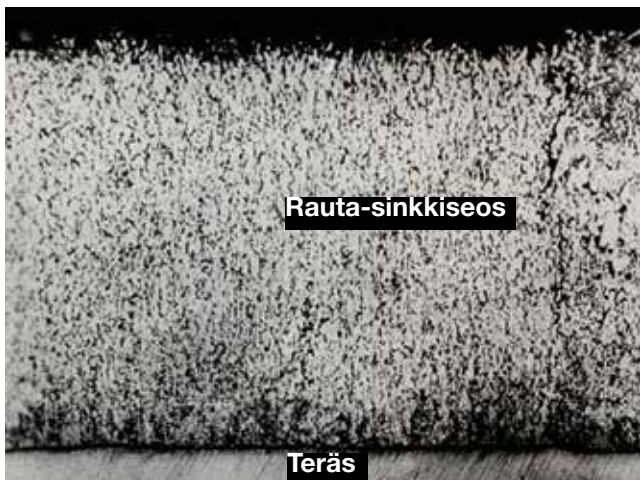


Kuva 5-2. Poikkileikkaus alumiinilla tiivistetyn teräksen sinkkipinnoitteesta.

5.3 Sandelin-teräkset

Puolitiivistettyjä teräksiä, joiden piin ja fosforin yhteenlaskettu pitoisuus on 0,03–0,14 %, kutsutaan kuumasinkityksessä "Sandelin-teräksiksi" löytäjänsä Robert W. Sandelinin mukaan. Ne vaativat kuumasinkityksessä erityisen kylpykoostumuksen. Tavallisessa kuumasinkityksessä teräksen ja sinkin välinen reaktio on hyvin voimakas, ja kerroksesta tulee paksu ja epä säännöllinen. Usein myös sen tarttuvuus on heikentynyt. Tämä johtuu ylimmän seoskerroksen (zeta-faasi) kiteistä, joista kasvaa pieniä, pitkäksi venyneitä rakeita.

Sulassa olomuodossa oleva sinkki diffundoituu nopeasti rakeiden välissä ja kasvu tapahtuu hyvin nopeasti, ks. kuva 5-5 ja 5-6. Jos käytettävissä ei ole seostettuja sinkkikylpyjä (ks. luku 5.7), tämän tyyppistä terästä pitää kuumasinkityksessä välttää.



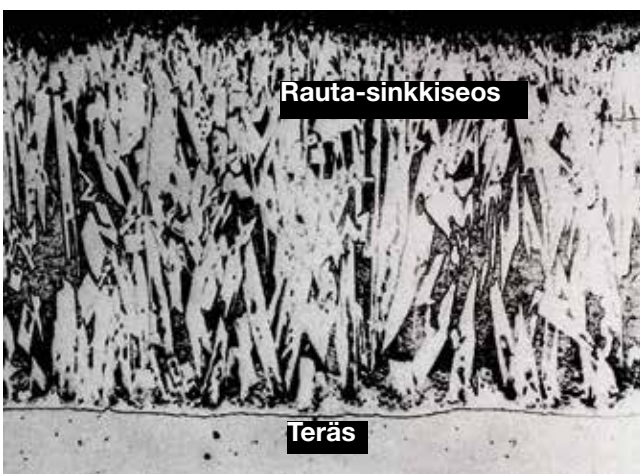
Kuva 5-3. Poikkileikkaus puolitiivistetyn teräksen sinkkipinnoitteesta, pitoisuus 0,06 % Si. Sinkitys suoritettu lämpötilassa 460 °C

5.4 Piillä tiivistetty teräs

Piillä tiivistetyn teräksen Si-pitoisuus on yli 0,14 %.

Teräksen seosaineista on piillä (Si) voimakkain vaikutus rautasinkkireaktioon. Piitä lisätään teräkseen sen valmistusprosessin yhteydessä, jolloin pii sitoo liuenneen hapen. Pii vaikuttaa rautasinkki-reaktion siten, että uloimmassa sinkki-kerroksessa (Zeta-faasi) kehittyy suuri joukko pieniä "rakeita", kuva 5-3, tai pitkiä neula-maisia kiteitä, kuva 5-4.

Molemmat rakennemuodot ovat "pirstoutuneita", ja rautasinkkikiteet ovat hajallaan. Tällöin sinkkisula pysyy helpommin tunkeutumaan teräksen pintaan asti, jolloin rauta-sinkkireaktio ei pysähdy, vaan jatkuu kiivaana koko upotusajan. Pinnoitteen paksuus kasvaa

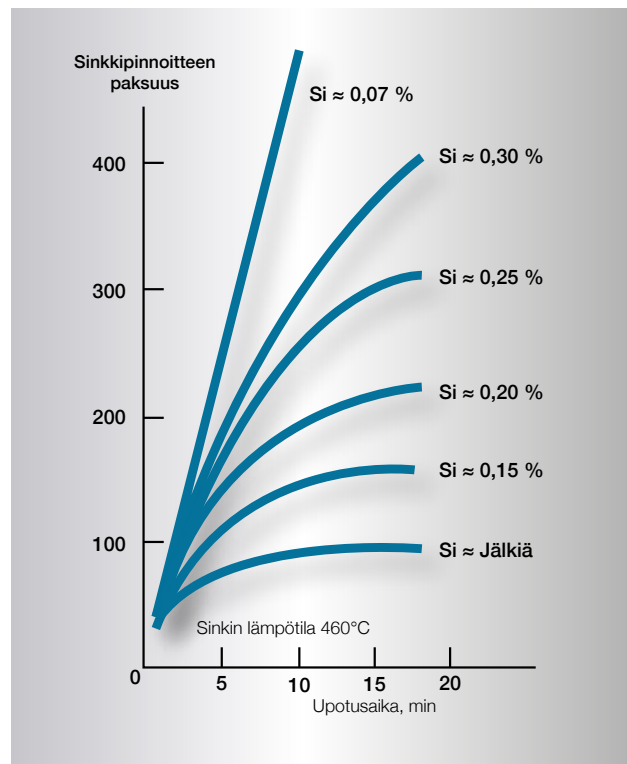


Kuva 5-4. Piillä tiivistetyn teräksen sinkkipinnoitteen poikkileikkaus, pitoisuus 0,26 % Si (460 °C).

nopeasti lisääntyvän upotusajan mukana ja pinnoitteesta tulee paksuja, kuva 5-5.

On otettava huomioon, että tässä kuvattujen seoskiteiden hajallaan olo ei merkitse sitä, että pinnoitteesta tulee "huokoinen" ja reikien täyttämä. Seoskiteiden välinen tila on aina täynnä puhdasta sinkkiä. Samanlainen tiivis, täysin metallinen pinnoite kuin tiivistämättömillä tai alumiinilla tiivistetyillä teräksillä saadaan myös piillä tiivistetyillä teräksellä.

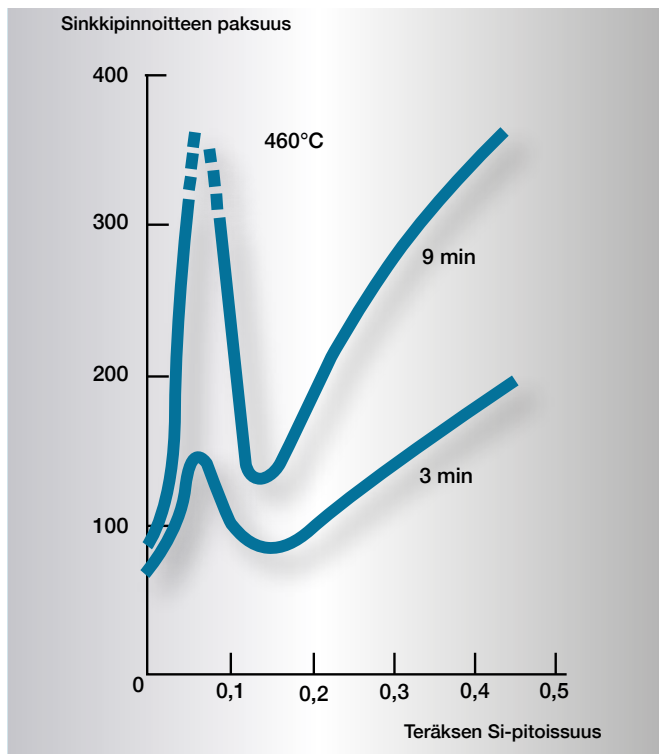
Piin vaikutus tässä reaktiossa ei ole lineaarinen, vaan lisääntyvät Si-pitoisuudet noudattavat kuvan 5-6 mukaista käyrää. Nämä käyrät, kuten myös kuvassa 5-5, ovat keskiarvokäyriä. Eri teräksillä vaihtelu voi olla huomattavaa, vaikka niillä olisi sama nimellinen piipitoisuus, koska piin analyysi voi vaihdella eri sulatuspanoksissa. Syynä vaihteluihin pidetään sitä, että vaikka eri teräksissä kokonaispiipitoisuus olisi sama, niin osapiistä on voinut sitoutua happeen ja tämän osuus vaihtelee. Teräkseen liuenneen piin määrä siis vaihtelee ja vain tämä liuenneen osan ottaa osaa reaktioon (7). On myös osoitettu (8), että pii voi jakaantua epätasaisesti teräksen pinnalla. Tämä koskee myös joitakin muita aineita, kuten rikki ja fosfori, jotka myös voivat vaikuttaa rautasinkkireaktioon (9).



Kuva 5-5. Sinkkipinnoitteen paksuus teräksen piipitoisuuden ja upotusajan funktiona. Käyrät ovat tutkimustuloksiin ja käytännön kokemukseen perustuvia keskiarvoja 6mm ja paksummille teräksille. Koska reagoiva pii perustuu vapaan piin määrään, voi vaihtelua esiintyä siitä huolimatta, että piin kokonaispitoisuus on sama.

Nostettaessa esine sinkkikylvystä kiinnittyy puhdas sinkkikerros seoskerrokseen myös piillä tiivistetyissä teräksissä. Näillä teräksillä reaktionopeus voi kuitenkin olla niin suuri, että tämä puhdas sinkkikerros ehtii muuttua kokonaan rautasinkkiseokseksi, ennen kuin esine on ehtinyt jäähtyä. Reaktio pysähtyy vasta, kun lämpötila on laskenut 300°C:n alapuolelle.

Rauta-sinkkikerroksen muodostuminen voi siis jatkua pintaan asti, josta tulee mattamainen värin vaihdellussa vaaleanharmaasta tummanharmaaseen. Väri määryytyy sen perusteella, kuinka suuri osuus rauta-sinkkikiteitä on sekoittuneena puhtaaseen sinkkiin - mitä enemmän sinkkiä, sitä vaaleampi pinta ja mitä enemmän rauta-sinkkiä sitä tummempi pinta.



Kuva 5-6. Teräksen piipitoisuuden ja sinkkipinnoitteen paksuuden suhde upotusajoilla 3 ja 9 minuuttia lämpötilan ollessa 460 °C.



Pinnasta ei aina tule tasaisen harmaa, vaan mattamaisia, harmaita ja osittain kirkkaita kohtiakin esiintyy. Tähän voi olla monta syytä. Piin, fosforin, rikin ja muiden aineiden pitoisuudet teräksen pinnalla, teräspinnan jännitykset, teräksen lämpökäsittely ja rakenne voivat kaikki vaikuttaa reaktioon. Myös kappaleen jäähtymisellä on merkityksensä.

Teräksen pinnan tasaisuudella, erityisesti kylmämuokatuissa materiaaleissa, on merkitystä sinkkikerroksen kasvuun. Zetakiteillä on taipumus kasvaa kohtisuorasti teräksen pinnalta. Tasaisilla ja kuperilla pinnoilla kasvaa siis kiteitä ilman, että ne häiritsevät toisiaan. Sula metalli voi silloin tunkeutua kiteiden väliin ja lisätä kasvua. Koverilla pinnoilla, matalissa ja syvissä kohdissa, kiteet sitä vastoin juuttuvat toisiinsa ja estävät kasvun.

5.5 Muiden seosaineiden vaikutus

Hiili ei vaikuta rautasinkkireaktioon pitoisuuksien ollessa alle 0,3 %, suuremmat pitoisuudet lisäävät reaktionopeutta ja siten pinnoitteen paksuutta. Hiilen olotilalla (perliitti, sorbiitti, martensiitti jne.) on suuri merkitys teräksessä (10).

Mangaani, kromi ja nikkeli lisäävät myös reaktionopeutta, mutta vain vähän niissä pitoisuuksissa, jotka ovat tavallisia niukkaseosteisissa teräksissä (11).

Niobi, titaani ja vanadiini ovat hienoraeterästen seosaineita. Pitoisuudet ovat normaalisti niin pieniä teräksissä, että näiden aineiden vaikutus on mitätön (12).

Rikki- ja fostori-pitoisuudet ovat alhaiset tavallisissa rakenneteräksissä, joten niiden vaikutus sinkin ja raudan väliseen reaktioon on vähäinen. Paikalliset pitoisuudet teräksessä voivat joskus olla huomattavasti korkeammat kuin mitä panosanalyysi osoittaa. Jos nämä kohdat ovat teräksen pinnalla, voi reaktio paikallisesti kiihtyä voimakkaasti.

Korkeammat rikkipitoisuudet - yli 0,2 % - kuten tiettyissä automaattiteräksissä voivat kiihdyttää reaktionopeutta niin paljon, että terästä ei voida kuumasinkittää, koska reaktio syövyttää terästä liiaksi.

5.6 Muiden tekijöiden vaikutus

Sinkkikylvyn lämpötila on normaalisti 450–460 °C. Käyttökelpoisella lämpötila-alueella 440–470 °C (matalalämpötila-alue) ei rautasinkkireaktion nopeus paljonkaan muutu.

Kuva 5-7. Kuumasinkittyjä putkia eri piipitoisuuksilla. Osa putkista on valmistettu alumiinilla tiivistetystä teräksestä, ja niihin on syntynyt kirkas kiiltävä pinta, kun taas piillä tiivistetystä teräksestä valmistettujen putkien pinta on mattaharmaa.

Jos taas kuumasinkitys tapahtuu korkealämpötila-alueella 540–560 °C, zeta-faasia ei muodostu. Sen sijaan gamma-faasin päälle muodostuu kaksi delta-faasia (tiivis ja pystykiteinen). Pinta on mattamainen ja väriltään tumman- tai vaaleanharmaa.

Koska korkealämpötila-alueella tapahtuvassa kuumasinkityksessä ei muodostu zeta-faasia, pii ei vaikuta raudan ja sinkin väliseen reaktioon. Eri terästyypit reagoivat samalla tavalla, ja muodostuvien pinnoitteiden kerrospaksuus on keskenään samaa luokkaa. Yli 100 mikrometrin kerrospaksuuksia on vaikea saada syntymään.

Sinkkikylvyn upotusaika määräytyy yleensä esineen käsiteltävyyden mukaan. Tavallisesti se on 1,5–5 minuuttia. Vaikeasti käsiteltävien ja suurten esineiden upotusajat saattavat venyä jopa 10 minuuttiin. Eri terästyypien piipitoisuuden vaikutus sinkkikerroksen paksuuteen ilmenee kuvasta 5-5.

Teräksen pinnankarheudella, kuten kohdassa 5.3 on mainittu, on ratkaiseva vaikutus pinnoitteen paksuuteen. Pinnankarheuden lisääntyessä sinkkikerroksen paksuus kasvaa. Terästyypistä ja pinnan profiilista riippuen voidaan esim. suihkupuuhdistuksen avulla saada aikaan 15–100 % paksumpi pinnoite. Erittäin ruostuneeseen tai voimakkaasti peitattuun teräkseen saadaan myös paksummat pinnoitteet.

Myös eri työstötoimenpiteet vaikuttavat pinnoitteen paksuuteen. Sorvattaessa suuri syöttö tuottaa paksumman kerroksen kuin pieni. Hionnalla voi olla odottamattomia vaikutuksia. Kaasu- ja laserleikkaus aiheuttavat usein normaalia ohuempia sinkkikerroksia.

Teräsmateriaalin paksuus vaikuttaa siten, että pinnoitteesta tulee sitä ohuempi, mitä ohuempi ainespaksuus on. Tämä pätee erityisesti piillä tiivistettyihin teräksiin ainespaksuuden ollessa alle 5 mm. Syynä on mm. se, että kevyiden esineiden käsittelyaika sinkkikylvyssä (upotusaika) on lyhyempi kuin raskaiden.

Eripaksuisia teräksiä voidaan myös muokata (valssata) ja lämpökäsitellä eri tavalla. Tämä voi johtaa erilaiseen ainesrakenteeseen, mikä vaikuttaa teräksen reaktiivisuuteen sinkkikylvyssä.

Sinkkikylvyn koostumusta voidaan jossakin määrin vaihdella. Perusaine on elektrolyyttisinkkiä (usein SHG-sinkki – Special High Grade), jonka sinkkipitoisuus on 99,995 %. Loput tuhannesosat muodostuvat pääasiassa raudasta. Sinkitytulokseen vaikutetaan lisäämällä tiettyjä seosaineita.

5.7 Seosaineiden vaikutus sinkkisulaan

Seoskylpyjä on tutkittu viime vuosina paljon. Tutkimuksen kohteena on lähinnä ollut alumiinin tai muiden aineiden lisääminen voimakkaan Sandelin-ilmiön vält-

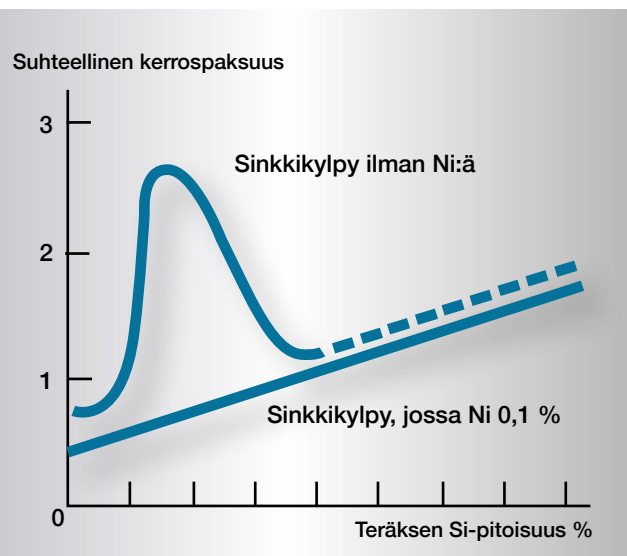
tämiseksi, kiiltävämmän pinnan tuottamiseksi, juoksevyyden parantamiseksi ja korroosiokestävyyden lisäämiseksi.

Alumiinia lisätään pieninä määrinä (0,001–0,01 %) kiiltävämmän pinnan aikaansaamiseksi kuumasinkityksessä. Suuremmat pitoisuudet aiheuttavat sinkkikerrokseen mustia, pinnoittamattomia läiskä, joita nykyiset juoksuteaineet eivät pysty muuttamaan alumiinioksidiksi. Nauhatavaran ja langan sinkityksessä käytetään hieman suurempia alumiinipitoisuuksia (0,1–5 %). Ohutlevyn jatkuvatoimisessa kuumasinkityksessä voidaan käyttää alumiinipitoisuuksia 55 prosenttiin saakka (Aluzink).

Sinkkikylvyn lisätty nikkeli (0,05–0,07 %) vähentää Sandelin-ilmiötä ja saa aikaan lineaarisen kasvun teräksen n. 0,22 % piipitoisuuteen saakka. Kun piipitoisuudet ovat tätä korkeammat, nikkelillä ei ole vaikutusta pinnoitteen paksuuteen. Kuvassa 5-8 esitetään nikkelillä seostetun sinkkikylvyn pinnoitepaksuuden kuvaaja. Koska nikkeli vastustaa zeta-faasin kasvua, pinnalla olevasta puhtaasta sinkkikerroksesta tulee paksumpi ja kiiltävämpi. Nikkeliä voidaan käyttää myös yhdessä vismutin kanssa.

Aiemmin sinkkikylvyn lisättiin lyijyä sulan viskositeetin ja pintajännityksen säätelemiseksi. Nykyään tätä vältetään ympäristösyistä. Lyijyn sijasta voidaan käyttää vismuttia 0,1–0,2 % pitoisuuksina. Vismutti on osoittautunut ominaisuuksiltaan lyijyn veroiseksi tai jopa paremmaksi sinkin juoksevyyden säätelijäksi, kun esineitä nostetaan kylvystä. Myös tarttuvuus on parempi, mikä näyttää erityisen merkittävältä kuumasinkityksessä korkealämpötila-alueella.

Tinaa käytetään joskus yhdessä vismutin kanssa, mikä antaa sinkkikerrokselle luonteenomaisen ruusukuvion.



Kuva 5-8. Nikkelin lisääminen sinkkikylvyn vaikuttaa Sandelin-ilmiöön. Nikkeli ei enää vaikuta reaktiivisuuteen, kun teräksen piipitoisuus ylittää n. 0,22 % Si.

Tinalla säädeltävä sinkkikylpy sopii lähinnä pienille kapaleille, joissa ei ole valmistuksen tai hitsauksen jäljiltä jännityksiä, koska käsittely saattaa vaikuttaa tietyissä olosuhteissa teräksen lujuuteen.

5.8 Teräksen valinta

Koska teräslaadun valinta ja erityisesti teräksen piipitoisuus määrää suurelta osin sinkkipinnoitteen paksuuden kuumasinkityksessä, suunnittelijan/valmistajan on tärkeää tuntea tämä ominaisuus päästökseen halumaansa lopputulokseen.

5.8.1 Alumiinilla tiivistetyt teräkset, joilla alhainen reaktiivisuus

Myös alumiinilla tiivistetyissä teräksissä on pieniä pitoisuuksia piitä, mikä vaikuttaa reaktiivisuuteen. Viime vuosina ovat yleistyneet alumiinilla tiivistetyt teräkset, joissa on niin sanottu ultra-alhainen piipitoisuus, alle 0,01 prosenttia, ja joissa alumiinipitoisuus on yli 0,035 prosenttia. Näillä teräksillä on monia positiivisia ominaisuuksia esimerkiksi lastuttavuuden ja muokattavuuden suhteen, mutta alhainen piipitoisuus yhdistettynä korkeaan alumiinipitoisuuteen tarkoittaa, että sinkkikerroksesta voi muodostua ohuempi kuin mitä SFS-EN ISO 1461 -kuumasinkitysstandardissa edellytetään. Jos kuumasinkitys lisäksi suoritetaan nikkeliä seostetussa kylvyssä, mikä on nykyään yleistä, sillä nikkelin katsotaan antavan monia positiivisia ominaisuuksia, reaktiivisuus vähenee entisestään ja kerroksesta tulee entistä ohuempi. Tällaisten terästen kohdalla asiakas ja kuumasinkitsijä voivat sopia keskenään standardista poikkeamisesta. Jos standardista poikkeamista ei voida hyväksyä, tämäntyyppiset teräkset täytyy suihkupuhdistaa ennen kuumasinkitystä.

5.8.2 Sandelin-ilmiön riski

Jos halutaan pinnoite, joka täyttää standardin SFS-EN ISO 1461 vaatimukset, tulee valita tiivistämätön tai alumiinilla tiivistetty teräs. Piillä tiivistettyä terästä voidaan luonnollisesti myös käyttää, mutta piipitoisuuden tulee olla mieluiten alueella 0,15–0,22 %. Pinnoitteesta tulee tällöin kuitenkin hieman paksumpi kuin standardi edellyttää.

Yleisesti voidaan todeta, että kun sinkittyyn tavaraan kohdistuu normaalit pinnanlaatuvaatimukset, seuraavat ehdot soveltuvat sekä kuuma- että kylmävalssatun alumiinilla tiivistetyn teräksen valintaan:

Si+P < 0,03 paino-%

ts. teräksen yhteenlasketun pii- ja fosforipitoisuuden pitää olla alle 0,03 painoprosenttia.

Jos pinnanlaatuvaatimukset ovat erittäin korkeat, esim. rakennusten arkkitehtuuriin kuuluvissa rakenteissa, pitää kylmävalssatun teräksen valinnassa noudattaa seuraavia ehtoja:

Si < 0,03 ja Si+2,5P < 0,04 paino-%

Huomaa fosforipitoisuuden kerroin yllä olevassa kaavassa.

Kuumavalssatus teräksessä kriittisintä on piipitoisuus, kun taas fosforipitoisuudella on vähemmän merkitystä. Seuraavia ehtoja suositellaan noudatettaviksi kuumavalssatun teräksen valinnassa, kun pinnanlaatuvaatimukset ovat korkeat:

Si < 0,02 ja Si+2,5P < 0,09 paino-%

Huomaa fosforipitoisuuden kerroin yllä olevassa kaavassa.

5.8.3 Suuremmat kerrospaksuudet

Neuvoja ja ohjeita kuumasinkityn teräksen käyttämiseen normaalia korkeamman korroosiorasituksen aiheuttavassa ympäristössä löytyy standardin SFS-EN ISO 1461 informatiivisesta lisäosasta. Teräksen piipitoisuuden tulee silloin olla > 0,22 %. Mitä suurempi pitoisuus on, sitä vahvempi sinkkikerros syntyy.

Äärimmäisissä korroosio-olosuhteissa voidaan paksun sinkkikerroksen sijaan valita kuumasinkityksen ja maalauksen yhdistelmä, ks. luku 11.

Jos sinkkikerroksesta halutaan kirkas, pitää valita tiivistämätön tai alumiinilla tiivistetty teräs (ilman lisättyä piitä).

5.9 Raudan ja sinkin reaktio teräsnauhojen sinkityksessä

Ohutlevyjien jatkuvatoimisessa kuumasinkityksessä käytetään kylmävalssattua teräsnauhaa, jonka koostumus on valittu menetelmän vaatimusten mukaisesti. Upotusaika on hyvin lyhyt ja lämpötila pidetään tarkoissa rajoissa. Sinkkikylpyyn seostetaan pieni määrä alumiinia (n. 0,2 %) jonka vaikutuksesta rauta-sinkki-reaktio estyy, kun upotusajat ovat lyhyet. Seoskerros jää hyvin ohueksi, n. 1–2 µm. Loput pinnoitteesta on puhdasta sinkkiä, 7–30 µm käyttökohteesta riippuen (kuva 5-9).

Rautasinkkiseokset ovat suhteellisen kovia ja hauraita. Korvaamalla ne suurimmaksi osaksi pehmeällä muotoiltavalla sinkillä voidaan jatkuvatoimisesti kuumasinkittyjä levyjä taivuttaa, saumata, puristaa ja jopa syvävetää ilman, että pinnoite halkeilee tai irtoaa.

Kuten kohdassa 5.5 mainittiin, ohutlevyjä voidaan päälystää myös alumiinilla seostetulla sinkillä. Yleisiä kauppanimiä ovat Galfan (5 % Al) tai Galvalume/Aluzink (55 % Al).



Kuva 5-9. Poikkileikkaus sinkkikerroksesta jatkuvatoimisesti kuumasinkityssä ohutlevyissä.

6. Kuumasinkityn teräksen lujuus

6.1 Murtolujuus, iskutikeus ja muokattavuus

Vuosien kuluessa on tehty paljon kokeita kuumasinkityksen vaikutuksesta niukka-hiillisten, seostamattomien ja niukkaseosteisten teräksien lujuuteen. Tutkimustuloksista on tehty lyhyt yhteenveto seuraavassa. Se koskee sekä normaalissa lämpötilassa (460 °C) että korkeassa lämpötilassa (560 °C) sinkittyjä teräksiä.

Teräksen murtolujuus, myötölujuus, murtovenymä ja -kuroutuma eivät sanottavasti muutu kuumasinkityksen takia. Tämä koskee myös hitsattuja rakenteita.

Kylmämuokattujen tai lämpökäsittelyjen terästen lujuus voi jonkin verran alentua kuumasinkityksen seurauksena. Määrä riippuu muokkausasteesta tai lämpökäsittelytavasta.

Iskutikeus, verrattuna keinotekoisesti vanhenneisiin näytteisiin, voi jonkin verran alentua, mutta ei niin paljon, että se vaikuttaisi teräksen käyttökelpoisuuteen.

Teräksen muokattavuuteen ei kuumasinkitys vaikuta. Voimakas taivutus voi kuitenkin aiheuttaa sinkkipinnoitteeseen murtumia.

6.2 Hitsausjännitykset

Hitsattujen rakenteiden hitsausjännitykset alenevat kuumasinkityksissä 50-60 %. Myös muutosvyöhykkeen jännitykset alenevat ja sinkittyjen rakenteiden staattinen lujuus on sen takia suurempi kuin sinkittämättömien.

6.3 Väsymislujuus

Eri terästyypin väsymislajuuteen kuumasinkitys vaikuttaa eri tavoin. Tiivistämättömillä ja alumiinilla tiivistetyillä materiaaleilla väsymislajuuden lasku on suhteellisen vähäistä, kun taas piillä tiivistetyillä teräksillä se voi olla merkittävä.

Syynä tähän on rauta-sinkkikerroksen erilainen rakenne. Rasiutilanteissa tähän kerrokseen ilmestyy halkeamia, jotka vähitellen saattavat edetä myös perusaineeseen.

On kuitenkin huomattava, että edellä mainitut tiedot on saatu laboratorio-olosuhteissa vertaamalla kuumasinkittyä materiaalia "uuteen" käsittelemättömään teräkseen. Jos käsittelemätön rakenne viedään ulkoilmaan, alkaa korrosio välittömästi. Syntyy syöpymiskuop-

pia, jotka voivat olla 5-7 kertaa syvempiä kuin yleisen korroosion syvyys, ja väsymislujuus alenee nopeasti. Sama pätee myös maalatuissa rakenteissa, kun maalikerros vaurioituu. Väsymislujuus sitä vastoin ei muutu mainittavasti niin kauan kuin sinkkipinnoitetta on jäljellä teräspinnalla. Normaaleissa olosuhteissa ei myöskään pistekorrosiota synny sinkkipinnoitteeseen.

Kuumasinkityksen aiheuttama väsymislajuuden pieneneminen on vähäistä verrattuna korroosion aiheuttamaan väsymislajuuden pienenemiseen. On myös huomattava, että suihkupuhdistus ja vielä voimakkaammin hitsausliitokset alentavat väsymislajuutta.

6.4 Haurausilmiöt, halkeilu

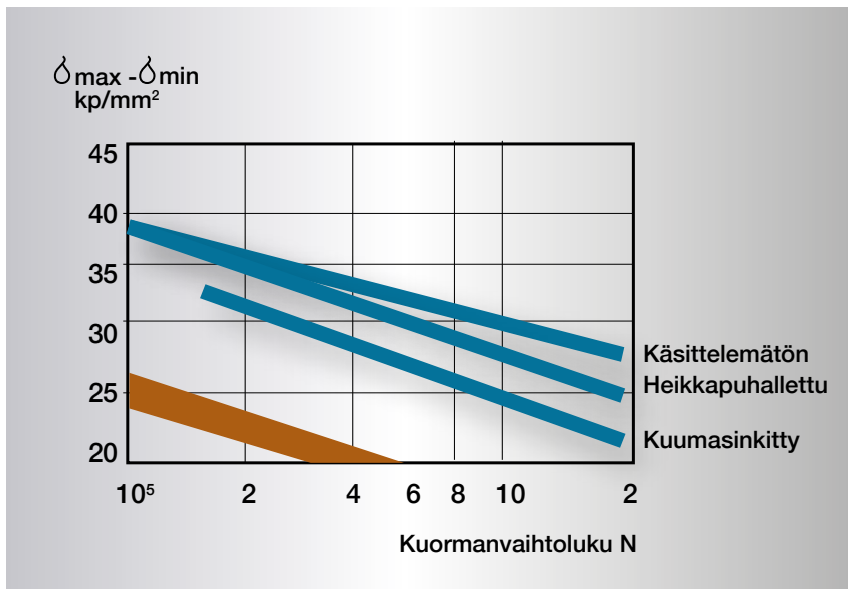
Kylmämuokatut vanhenemisalttiit teräkset tulevat ajan mittaan hauraksi (myötö-vanheneminen). Korkeat käyttölämpötilat voimistavat tätä vaikutusta. Vaikka teräs sinänsä kestävä vanhenemistä, voi kylmämuokkaus aiheuttaa sen, ettei teräs ole riittävän sitkeä, jotta se voisi täyttää voimassa olevat vaatimukset. Kylmämuokattujen terästen kuumasinkityksessä tapahtuu kuumenemista, joka joissakin tapauksissa voi aiheuttaa tällaista myötö-vanhenemistä. Teräs haurastuu joka tapauksessa kuumasinkittäen se tai ei. Kuumasinkityksessä tulee ottaa huomioon, onko esineet kylmämuokattuja. Erityisen alttiita ovat tiivistämättömät teräkset. Piillä tiivistettyjen terästen alttius haurastumiseen on pienempi. Myös alumiinilla tiivistettyihin teräksiin kylmämuokkaus ja sinkityksen aiheuttama vanheneminen vaikuttavat negatiivisesti.

Epäilyttävissä tapauksissa on hyvä suorittaa kokeita ennen kuumasinkitystä. Jos ei saada hyväksyttäviä arvoja, tulee ennen sinkitystä tehdä jännitystenpoisto-hehkutus 600...650 °C:ssa puolen tunnin ajan tai mieluummin normalisointi. Teräslaadut, jotka vanhenevat nopeasti, ovat kuitenkin nykyään suhteellisen harvinaisia.

Vetyhaurautta ei esiinny kuumasinkityksessä tavallisissa tai niukkaseosteisissa rakenneteräksissä. Teräkseen peittäus-vaiheessa mahdollisesti tunkeutunut vety poistuu sinkkikylvyn lämpötilassa.

Karkaistut teräkset voivat haurastua metalliin tunkeutuneen vedyn takia. Tällaisten materiaalien koesinkitys on suoritettava aina ennenkuin suurempia eriä kuumasinkittäen.

Raerajakorroosio voi aiheuttaa halkeamia, jos sinkkiä



Kuva 6-1. Teräksen S355 Wöhler-käyriä vaihtokuormituksella. Ruskea alue kuvaa normaalin korroosion aiheuttamaan väsymislujuuden kulkua..

pääsee tunkeutumaan teräkseen raerajoja seuraten sinkitysvaiheen aikana. Edellytyksenä on, että teräkseen on ennakolta syntynyt suuria jännitystiljoja esim. hitsauksen tai karkaisun takia.

Tavalliset rakenneteräkset eivät ole raerajakorroosiolle alttiita. Karkaistut teräkset ovat sitävastoin arempia ja niillä on syytä suorittaa koesinkitys. Raerajakorroosion vaara voidaan minimoida, jos teräs päästetään korkeammassa lämpötilassa kuin mitä sinkkiylvyn lämpötila on, ts. 460 °C.

6.5 Kuumasinkitty teräs ja palaminen

Kuumasinkitty teräs ei pala, mutta sen lujuus alenee lämpötilan noustessa. Teräsrakenteet pysyvät stabiileina, kunnes kriittinen lämpötila saavutetaan. Tämä tapahtuu 500 ja 750 °C asteen välillä riippuen kuormitusolosuhteista.

Palosuojaus alkaa aina suunnitteluvaiheesta. Paloris-kiä ja palosuojelun kustannuksia voidaan usein pienentää huolellisella rakennesuunnittelulla.

Palonkesto-aika on se minimiaika minuuteissa, jonka kuluessa rakenne pystyy edelleen täyttämään tehtävänsä vakio-palon aikana. Rakenne ei siis saa romah- taa tänä aikana. Minimiaikaa käytetään luokittelun pe-

rusteena kuvan 6-2 mukaisesti.

Aikaa pystytään pidentämään seuraavilla toimenpiteillä:

- Lämmön tunkeutumisen hidastaminen peittämällä (peittäminen betonilla tai mineraalivillalla)
- Lämmön johtaminen pois esim. täyttämällä pilareita vedellä tai betonilla.

Kuumasinkityksessä valitaan usein ensimmäinen vaihto- ehto, jolloin rakenne luokitellaan palonestoluokkaan F 30-60.

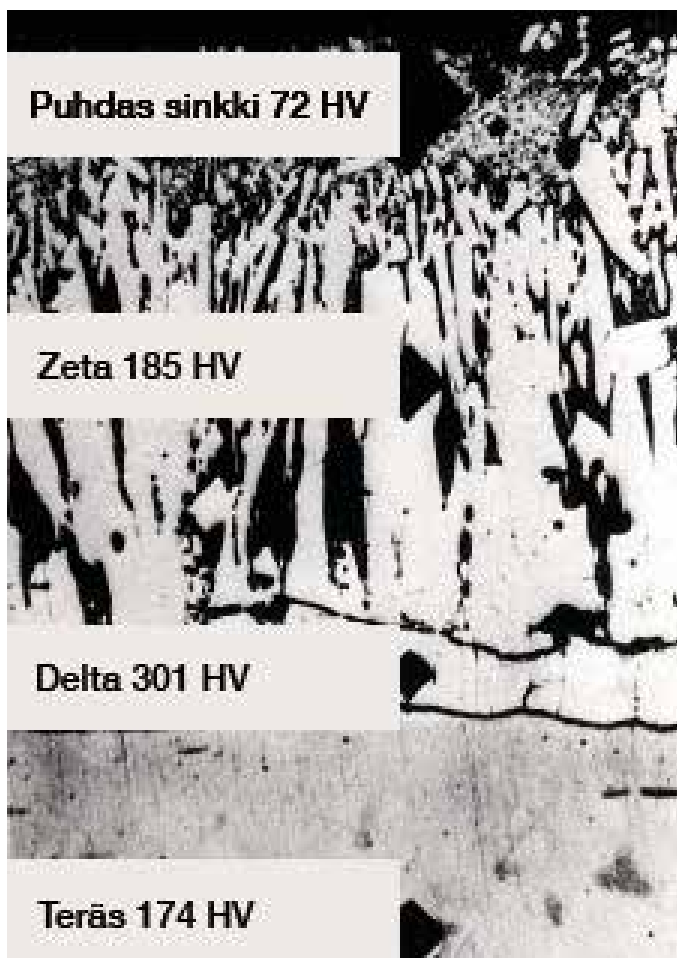
Kuumasinkityn teräksen palosuojausluokitus voidaan toteuttaa samoilla menetelmillä kuin käsittelemättö- mien terästen.

6.6 Kuumasinkittyjen tuotteiden altistumi- nen kuumuudelle

Vaikeiden teräksien kuumasinkitys ("Varmförzinkning av svåra stål") -projekti toteutettiin Nordic Galvanizer- sin ohjauksessa yhteistyössä RISE KIMAB -tutkimus- laitoksen kanssa. Projektissa tutkittiin muun muas- sa kuumasinkityn teräksen käyttäytymistä korkeissa lämpötiloissa (13). Aiemmin on kerrottu, että pinnoite

Palonkestävyysluokka	Palonkestävyysaika Minuuttia	Maininta rakennetarkastussäännöissä
F 30	≥ 30	Paloa hidastava
F 60	≥ 60	Paloa hidastava
F 90	≥ 90	Paloa pidättävä
F 120	≥ 120	Paloa pidättävä
F 180	≥ 180	Palonkestävä

Kuva 6-2. Palonkestoluokat.



Kuva 6-3. Tuloksia mikroko-
vuusmittauksesta teräksessä ja
sinkkikerroksen eri faaseissa.

kestää lämpötiloja 275 °C:een saakka. Tämä pitää paikkansa, jos altistus on suhteellisen lyhyt, mutta mainittu asteluku ei päde muutamaa viikkoa pitemmillä altistusajoilla.

Tutkimukset ovat osoittaneet, että korkeassa lämpötilassa tehty pinnoite kestää altistumista kuumuudelle huomattavasti pidempään kuin matalassa lämpötilassa tehty. Tämä johtuu siitä, että kuumenapito saa aikaan diffuusiosta aiheutuvia faasimuutoksia sinkkikerroksessa, ts. puhdas ylin sinkkikerros muuttuu metallienväliseksi faasiksi. Kun metallienvälinen faasi (rauta-sinkki) ulottuu koko kerrokseen, hauraus lisääntyy ja kerrokseen pääsee muodostumaan halkeamia varsinkin sen jäähtyessä (syklinen lämpötilan vaihtelu). Korkeassa lämpötilassa tehty pinnoite on tälle ilmiölle herkempi, koska se ei alun perinkään sisällä muuta kuin metallienvälisiä faaseja.

Korkean lämpötilan ja mekaanisen rasituksen (esim. värähtelyt) yhdistelmää on myös vältettävä.

Matalassa lämpötilassa valmistetulla pinnoitteella, jossa on suuri pitoisuus puhdasta sinkkiä, on näin ollen parhaat edellytykset pitkäaikaiseen kestävyysasteeseen korkeassa lämpötilassa. Kuumasinkittyjä tuotteita ei saa käyttää seuraavat maksimilämpötilat ylittävissä kohteissa:

A) Matalassa lämpötilassa tehty pinnoite: 225 °C (lyhyen ajan 250 °C voidaan hyväksyä)

B) Korkeassa lämpötilassa tehty pinnoite: 200 °C

6.7 Sinkkipinnoitteiden kulutuskestävyys

Puhdas sinkki on pehmeä metalli, mutta se on kovempaa kuin useimmat orgaaniset pinnoitemateriaalit. Rauta-sinkkiseokset kuumasinkityssä materiaalissa ovat sitä vastoin hyvin kovia, jopa kovempia kuin tavalliset rakenneteräkset, kuva 6-3.

Seokset kestävät sen vuoksi kulutusta huomattavasti paremmin kuin puhdas sinkki. Kokeet ovat osoittaneet, että seoskerroksen kulutuskestävyys on 4-5 kertaa parempi kuin puhtaan sinkin (14).

Kuumasinkittyjä teräksiä käytetään siitä syystä kohteissa, jotka joutuvat alttiiksi kulutukselle. Esimerkkeinä tästä mainittakoon ajoneuvojen astinlaudat, kuljetusvaunut, ritilätasot, kulmaraudat, lattialuukut, kaiteet jne.

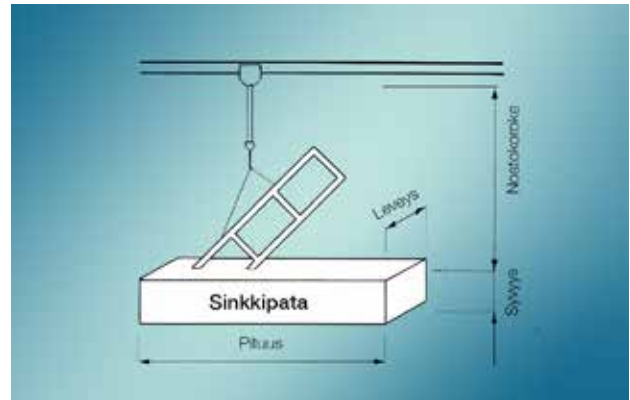
7. Rakenteiden suunnittelu ja valmistus

Rakenteiden muotoilussa kuumasinkitystä varten pätevät suurelta osin samat säännöt, jotka koskevat hyvää rakenne-, pintakäsittely- ja hitsauskäytäntöä yleensä. Tiettyihin asioihin tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota. On myös tärkeää, että suurehkojen esineiden ollessa kyseessä otetaan huomioon peittausaltaiden ja sinkkipatojen koko. Sinkitys voidaan suorittaa myös nk. kääntökastolla, jolloin on mahdollista pinnoittaa pitempiä rakenneosia kuin mitä padan pituus on.

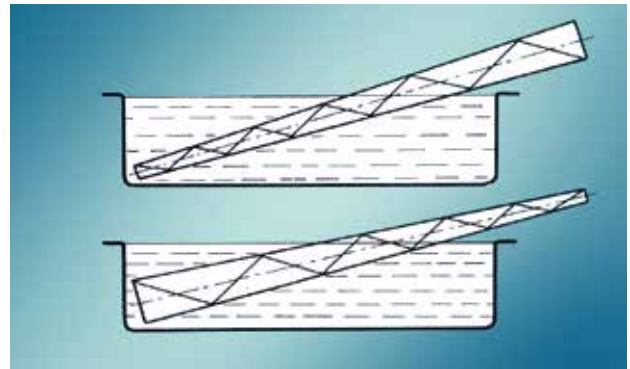
Ruuviliitokset ovat suositeltavia, koska niillä saavutetaan usein huomattavia etuja verrattuna hitsausliitokseen. Mm. vältetään vaivalloisista ja kalliista pintojen korjauksista, jotka johtuvat sinkin vioittumisesta hitsattaessa. Lisäksi säästöjä voi tulla sinkitys- ja kuljetuskustannuksissa ja usein myös asennuskustannuksissa.



Kuva 7-1. Kaapelihyllyjen kuumasinkitys. Nostoasennon kaltevuuden ansiosta ylijäämäsinkki valuu helposti pois.



Kuva 7-2. Periaatekuva kuumasinkityksestä.



Kuva 7-3. Periaatekuva kääntökastosta.

7.1 Turvallisuusvaatimukset

Kuumasinkityksessä esineet upotetaan happoon ja sulaan sinkkikylpyyn. Tämän takia putkirakenteet ja säiliöt sekä palkkirakenteet täytyy varustaa valutus- ja ilmanpoistoaukoilla. Kun aukkoja on riittävästi, niin että ontelot tyhjenevät kokonaan, vältetään räjähdysvaara.

Peittaushappoa voi tunkeutua esim. hitsien huokosiin. Upottaessa esine sinkkikylpyyn, höyrystyvät peittausnesteen jäänteet ja elleivät ne pääse poistumaan, paine nousee aiheuttaen räjähdysvaaran.

Aukkojen koot on esitetty taulukossa 7-4. Aukot tulee sijoittaa niin, että tuuletus on täydellinen ja niin, että peittaushappo ja sinkki valuvat helposti sisään ja ulos.

Kuvissa on esimerkkejä aukkojen sijoituksista. On suositeltavaa ottaa yhteyttä sinkkitsijään jo suunnitteluvaiheessa ja keskustella aukkojen koosta ja sijoituksesta.

Pyöreä profiili (mm)	Neliön muotoinen profiili (mm)	Suora-kulmainen profiili (mm)	Halkaisija läpi menevä reik (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

Kuva 7-4. Putkirakenteiden suositeltavat tuuletusreikäkoot.

7.2 Laatumäkökohtia

Seuraavat ohjeet eivät ole kuumasinkityksen edellytyksiä, mutta niillä helpotetaan sinkitystä ja parannetaan laatua.

7.2.1 Käsittelymahdollisuudet

Muotoile mieluiten kappaleet helposti käsiteltävistä osista, jotka kootaan yhteen sinkityksen jälkeen. Ruuviliitoksen käyttö on suositeltavaa. Esineet tulee varustaa nostoaukoilla tai nostokorvilla, joihin työkalut voidaan kiinnittää. Vältä sisään työntyviä putkiosia säiliöissä. Putkiosat tulee sijoittaa nurkkiin lävistäjän suuntaan. Muutoin säiliöitä ei voida tyhjentää kokonaan sinkistä, ks. kuva 7-8.

7.2.2 Toisiinsa nähden liikkuvat osat

Toisiinsa nähden liikkuvat osat asennetaan sinkityksen jälkeen. Jos tämä ei ole mahdollista, voidaan liikkuvuus säilyttää varaamalla riittävä välilyös, 1 mm, kullekin sivulle, ts. reikä 2 mm akselia suurempi.

7.2.3 Vältä rakenteita, jotka saattavat vääntyä

Vältä yhdistämästä samaan kappaleeseen osia, joiden ainevahvuudet ovat kovin erilaiset, ks. kuva 7-7. Kuumeneminen sinkkilyvyssä tapahtuu epätasaisesti ja rakenne voi vetäytyä. Pitkiä, hoikkia rakenteita tulee välttää. Vältä ohutlevyjen, ainepaksuus 3-4 mm, suuria tasopintoja, ks. kuva 7-9. Tällaiset rakenteet voivat vetäytyä. Jos mahdollista pitää rakenne muotoilla siten, että hitsaus voidaan suorittaa symmetrisesti painopisteakseliin nähden. Hitsausjärjestys suunnitellaan siten, että jännitykset tulevat niin vähäisiksi kuin mahdollista.

7.2.4 Vältä eri pinnanlaatujen ja materiaalityyppien yhdistelmiä

Vasta valssattua terästä ei ole hyvä hitsata yhteen syöpyneen teräksen tai valuraudan kanssa. Tällaiset materiaalit tulee käsitellä eri tavalla, mikä ei ole mahdollista, jos ne on hitsattu yhteen. Sinkkipinnoitteesta tulee epätasainen ja pintojen ulkonäkö vaihtelee.

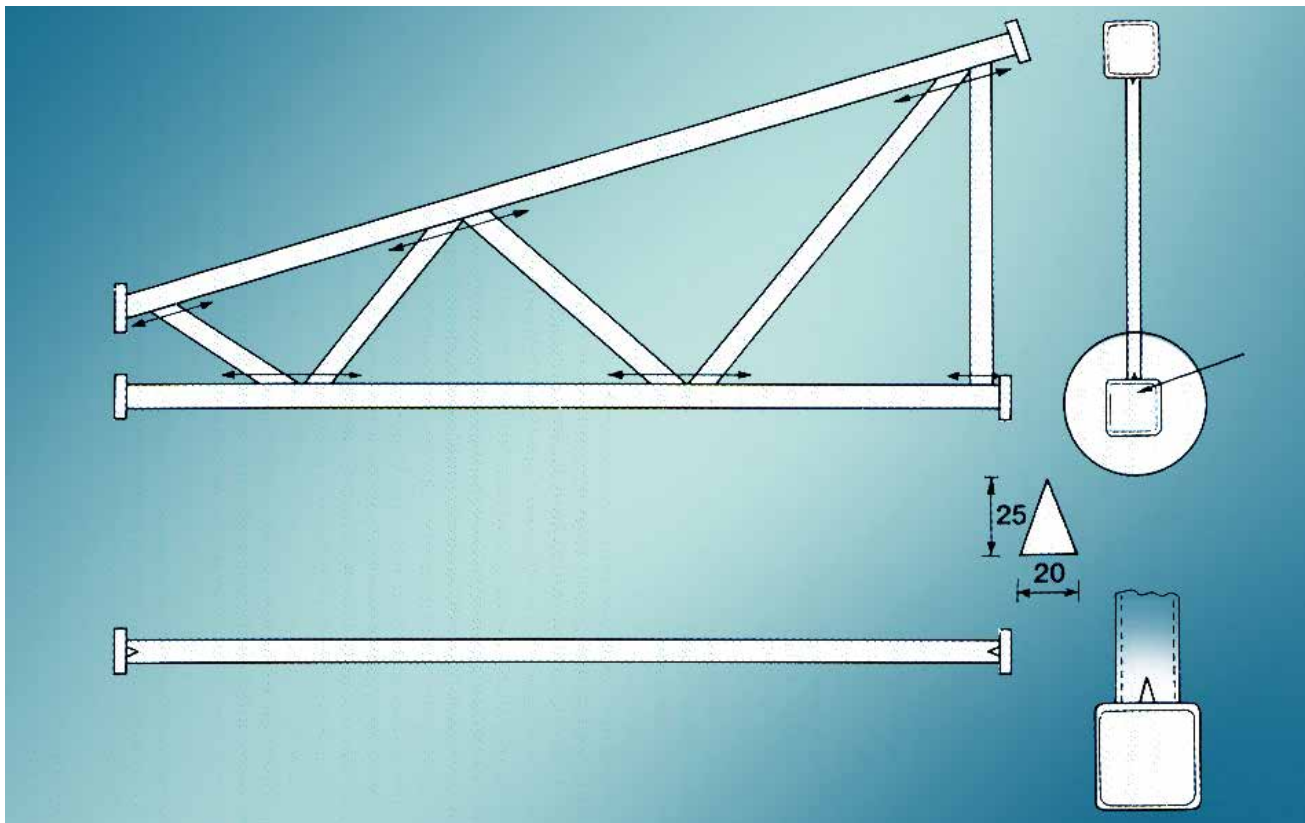
Eri terästyyppisiä kuten tiivistämätöntä tai alumiinilla tiivistettyä terästä ei ole suositeltavaa hitsata yhteen piillä tiivistetyn materiaalin kanssa. Pinnan ulkonäöstä tulee erilainen ja sinkkipinnoitteista eri paksuisia.

7.2.5 Vältä happopesäkkeitä

Muotoile rakenne niin, ettei synny kapeita rakoja, ks. kuva 7-10 ja 7-13. Päittäisliitokset ovat kuumasinkityksen kannalta paremmat kuin limiliitokset.

Jos limiliitoksia ei voida välttää, on hitsaus tehtävä liitoksen ympäri. On tärkeää, ettei liitokseen jää läpime-neviä huokosia.

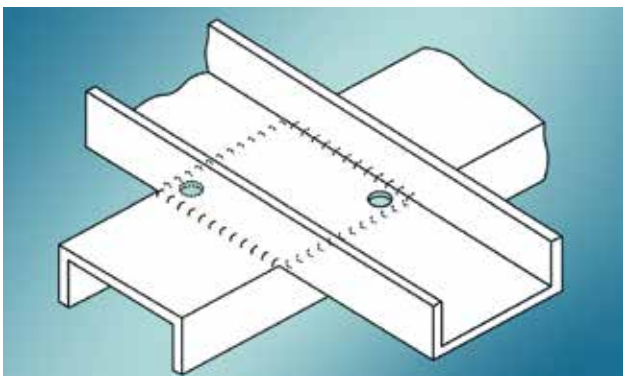
Limiliitoksien väliin jäävä rako ei sinkity. Kosteuden vaikutuksesta rakoon jääneet suolat ja vesi ruostuttavat teräksen, aiheuttaen ruostealumia.



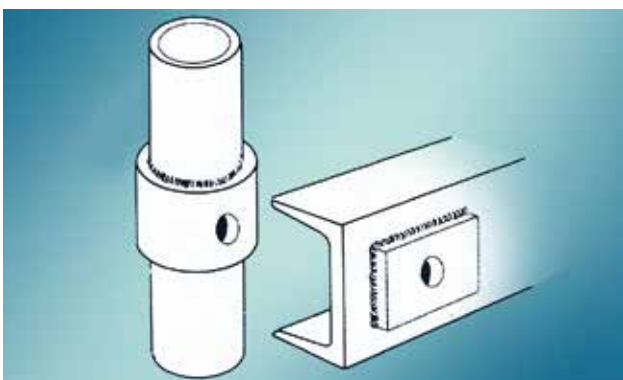
Kuva 7-5. Hitsatuissa rakenteissa laitetaan aukot kaikkiin liitoskohtiin. Sinkki pääsee valumaan sisään ja ulos. Kuvan esimerkissä aukkokoko soveltuu alle 100 x 100 putkipalkeille.

7.2.6 Päällekkäiset pinnat

Aivan kuten ontelorakenteissa (luku 7.1), myös päällekkäisillä pinnoilla pitää olla tyhjennys- ja ilmanvaihtoreiät. Riittämätön rei'itys saattaa johtaa rakenteen räjähtämiseen kuumassa sinkkikylvyssä. Reikien kokoa ja sijoittelua koskevat ohjeet on esitetty taulukossa 7.2.

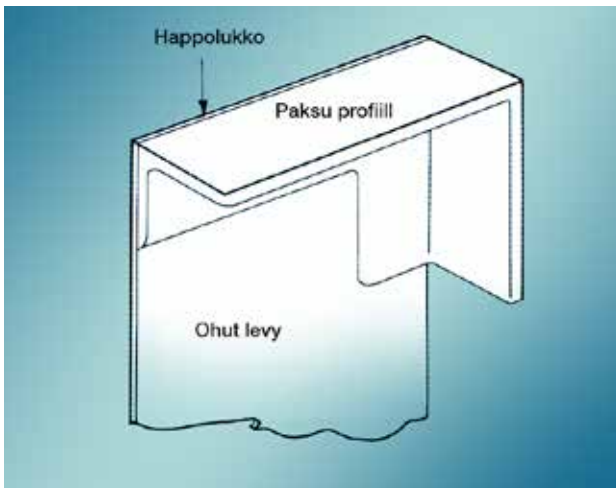


Kuva 7-6. Esimerkkejä päällehitsatuista vahvikkeista, jotka pitää varustaa tuuletusreiällä, jos peitetty ala on suurempi kuin n. 100 cm².

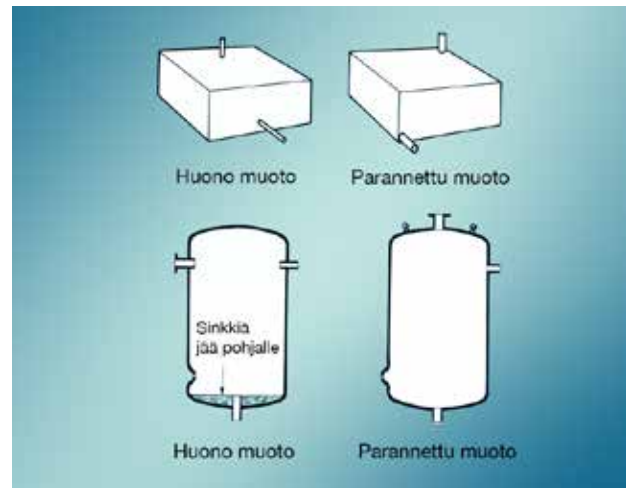


Päällekkäinen pinta	Suosittelut toimenpiteet
Alle 100 cm ²	Hitsattu kokonaan tiiviiksi. Materiaalin on oltava hitsattaessa kuiva ja pintojen on oltava sileitä, jotta ne voidaan liittää yhteen niin, että niiden väliin jää mahdollisimman pieni rako.
100 – 1000 cm ²	Diagonaalinen sijoittelu (katso yllä oleva kuva): <ul style="list-style-type: none"> • 2 x ≥ 12 mm:n reiät kulmissa • (Vaihtoehtoisesti: 2 x ≥ 25 mm:n katkohlitsi kulmissa)
1000 – 2500 cm ²	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x ≥ 12 mm:n reiät kulmissa • (Vaihtoehtoisesti: 4 x ≥ 25 mm:n katkohlitsi kulmissa)
> 2500 cm ²	Diagonaalinen sijoittelu (katso yllä oleva kuva): <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 12 mm:n reiät kulmissa ja lisäksi reiät 300 mm:n välein kaikkialla päällehitsatun levyn reunoilla • (Vaihtoehtoisesti: 2 ≥ 25 mm:n katkohlitsi kulmissa ja lisäksi ≥ 25 mm:n katkohlitsi 300 mm:n välein kaikkialla päällehitsatun levyn reunoilla)

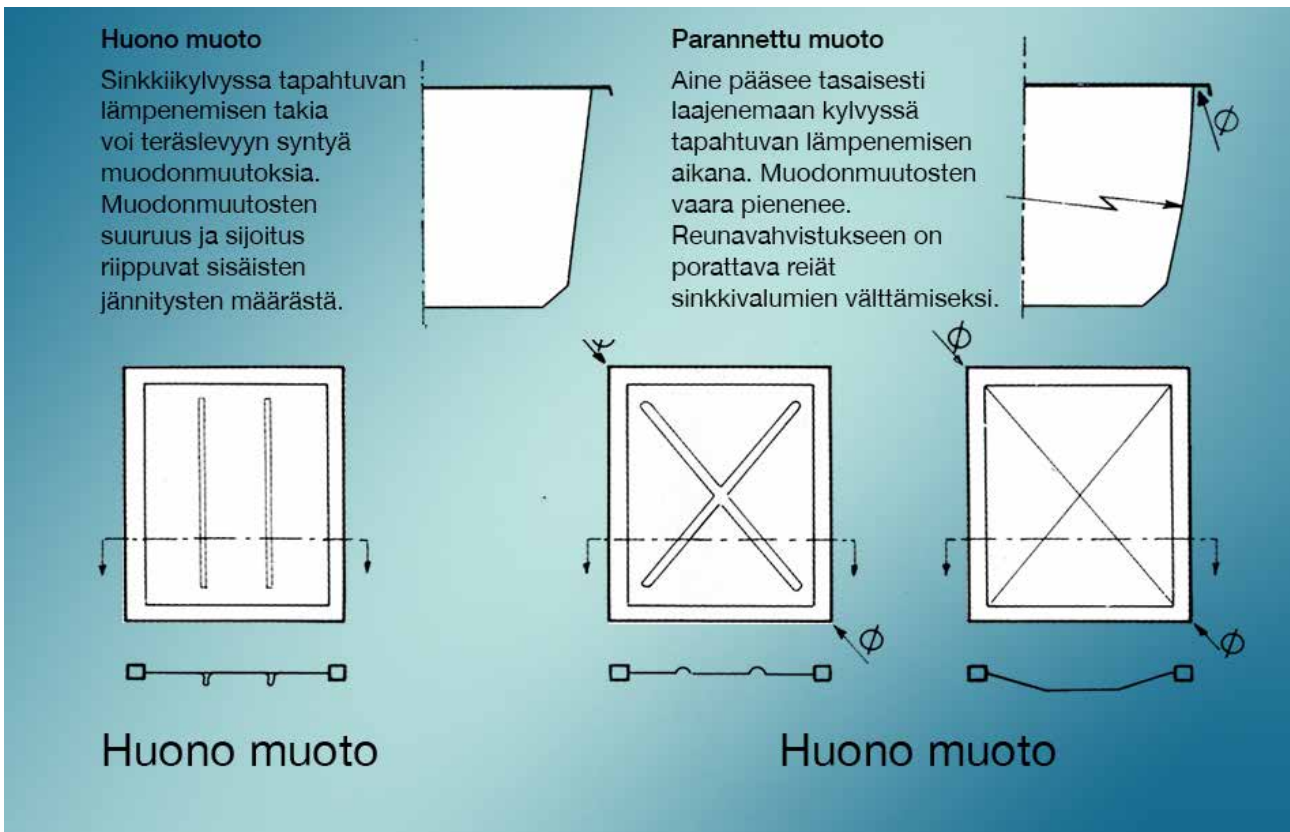
Taulukko 7-2. Päällekkäisillä pinnoilla käytettäviä tyhjennysreiä sekä niiden kokoa ja sijoittelua koskevat suositukset ISO 14713-2 -standardin mukaisesti. Reiät tulee sijoittaa sopivaan paikkaan sen mukaan, miten rakenne riippuu upotuksen aikana.



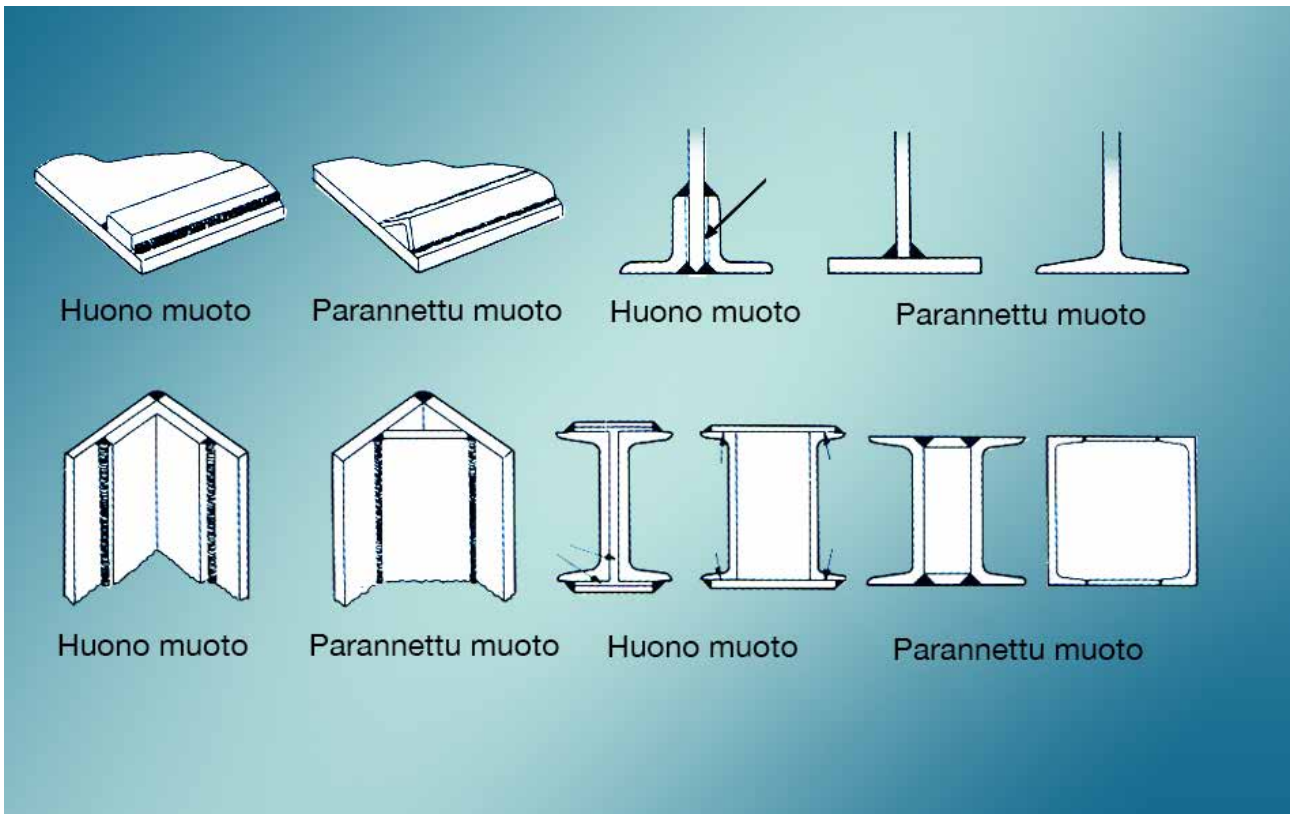
Kuva 7-7. Älä hitsaa yhteen kovin eri ainevahvuisia osia. Rakenne voi vetää sinkkiikylvyissä ja jäähdytyksessä eriaikaisen lämpenemisen ja jäähtymisen johdosta.



Kuva 7-8. Sisään työntyvät putkiosat säiliössä estävät säiliön tyhjenemisen. Sijoita putkiosat lähelle kulmia lävistäjän suunnassa. Sinkin valumista helpotetaan myös jos putkiosat eivät ole kovin pieniä - Ø 50 mm jokaista 0,5 m³ kohti on hyvä sääntö. Suuremmissa säiliössä pitää olla nostokorvakkeet käsittelyn helpottamiseksi.



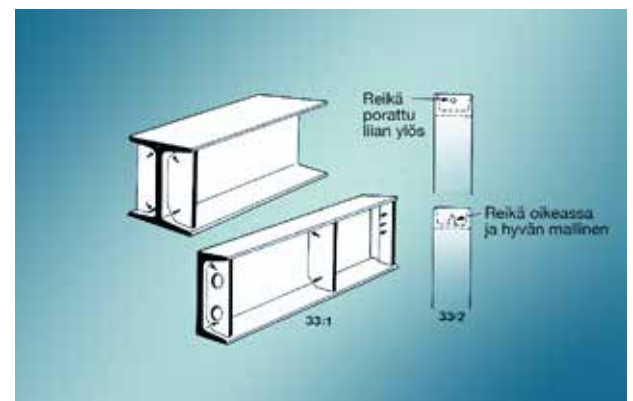
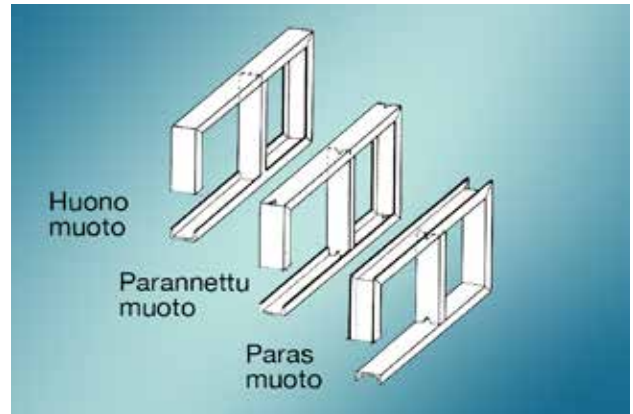
Kuva 7-9. Esimerkkejä jäykistämisestä tasopintojen muodonmuutosten pienentämiseksi.



Kuva 7-10. Esimerkkejä miten rakenteet pitää muotoilla, ettei happopesäkkeitä muodostuisi.



Kuva 7-11. Happopesäke, josta happo ja raudan suolat ovat syövyttäneet reiän sinkkikerrokseen aiheuttaen värivirheen.



Kuva 7-12. Tukilevyjen kulmat on poistettava. Valumisaukot pitää sijoittaa niin lähelle pohjaa kuin mahdollista. Diagonaalien pää ei saa ulottua laippaan asti, tai sen pää on lovetettava. Huom. Vaihtoehto 2 muodostaa happopesäkkeen, jota pitää välttää.

7.2.7 Vältä taskuja

Rakenteet tulee suunnitella siten, että sinkki voi vapaasti juosta pois kaikilta pinnoilta nostettaessa rakenne ylös sinkkikylvystä, kuva 7-12. Muutoin pinnoitusta tulee epätasainen.

7.2.8 Kierteelliset osat

Ulkopuoliset kierteet tulee valmistaa alimittaisiksi niin, että ne sopivat mutteriin sinkityksen jälkeen. Kierteiden sopivat alimitat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 10684 .

Sisäpuoliset kierteet tehdään tai avataan nimellismittaan sinkityksen jälkeen. Yhdistelmä rakenteissa ulkopuoliset kierteet täytyy puhdistaa sinkityksen jälkeen. Ulkopuolisten kierteiden sinkkipinnoite suojaa sisäpuolisen kierteen ruuviliitoksissa

7.2.9 Merkintä

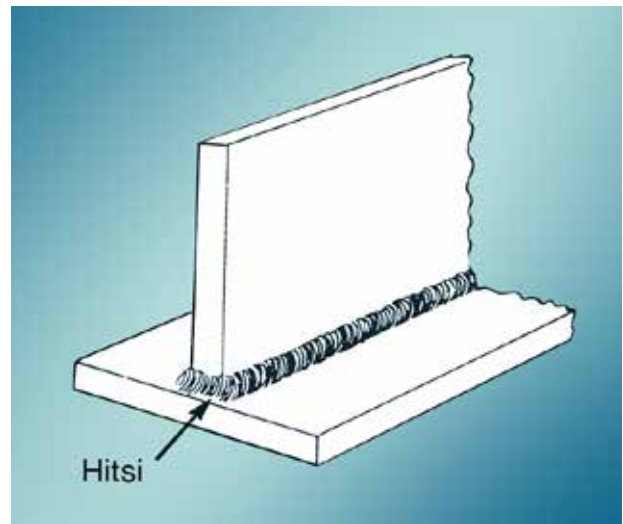
Kuumasinkittävien terästen väliaikainen merkintä voidaan tehdä ainoastaan vesiliukoisilla maaleilla.

Pysyvä merkintä voidaan tehdä stanssaamalla kirjaimet tai numerot esineeseen tai niihin kiinnitettyihin peltilaattoihin. Stanssaus on oltava niin syvä, että merkintä on luettavissa sinkityksen jälkeen

7.2.10 Hitsaaminen

Hitseissä ei saa olla reikiä, jotka aiheuttavat happope-säkkeitä. Molemmilta puolilta suoritettava pienahitsaus on päätettävä yli toisen sauman, niin että happo ei pääse tunkeutumaan mahdolliseen rakoon, kuva 7-13.

Hitsausmenetelmät, joissa ei synny kuonaa, kuten MIG-hitsaus, ovat suositeltavia. Jos käytetään päällystettyjä hitsauspuikkoja, kuona on poistettava hitseistä hyvin. Hitsauskuona ei lähde pois peittauksessa ja se aiheuttaa mustia sinkittömiä täpliä kuumasinkityksessä.



Kuva 7-13. Päättä hitsi toisen päälle niin, että se on tiivis.

7.2.11 Muuta

Hyvän kuumasinkitystuloksen edellytyksenä on, että teräspinnat ovat puhtaat. Sen vuoksi tulee huolehtia siitä, ettei teräspintoihin tule maalia, rasvaa, öljyä tai tervaa. Epäpuhtaudet, jotka eivät lähde peittaamalla, on poistettava muilla menetelmillä. Niistä aiheutuu lisäkustannuksia. Epäpuhtauksien kohdalle ei sinkki tartu. Joskus epäpuhtaudet voivat olla vaikeasti havaittavissa ja tulevat esiin vasta sitten, kun sinkitys on suoritettu. Tällöin voi olla välttämätöntä käsitellä pinta uudelleen, mikä luonnollisesti nostaa käsittelyn kustannuksia.

Kaasu-, laser- ja plasmaleikkauksella syntyy pintoja, jotka vaikuttavat sinkitykseen. Sinkkikerroksesta voi tulla liian ohut ja sen tarttuvuus voi jäädä heikoksi. Nämä pinnat tulee hiekkapuhaltaa tai hioa ennen sinkitystä.

8. Standardit

8.1 Yleiset vaatimukset

Sinkkikerroksen ulkonäköön, paksuuteen, rakenteeseen sekä fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat kappaleiden kemiallinen koostumus, massa ja olosuhteet sinkityksen aikana. Kuumasinkitystyön ja asiakkaan välistä tietojen vaihtoa koskevat vaatimukset on esitetty standardin liitteissä. Alin kerrospaksuutta ja ulkonäköä koskeva laatuvaatimus esitetään yleensä standardissa SFS-EN ISO 1461. Jotta edellä mainitut vaatimukset saavutetaan, pitää asiakkaan ilmoittaa kuumasinkitystyölle tiedot teräslaudasta ja halutusta pinnoitteen paksuusluokasta standardin mukaisesti.

8.2 Suomalaiset standardit:

SFS-EN ISO 1461 Teräs- ja valurautatuotteiden kuumasinkkipinnoitteet. Spesifikaatiot ja testausmenetelmät.

SFS-EN ISO 14713-1 Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet ja korroosionkestävyys.

SFS-EN ISO 14713-2 Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 2: Kuumasinkitys.

SFS-EN ISO 10684 Kiinnittimet. Kuumasinkkipinnoitteet.

Tuote ja sen nimellispaksuus mm	Paikallinen kerrospaksuus (vähintään) μm	Keskimääräinen kerrospaksuus (vähintään) μm
Teräs > 6 mm	70	85
Teräs > 3 - \leq 6 mm	55	70
Teräs \geq 1,5 - \leq 3 mm	45	55
Teräs < 1,5 mm	35	45
Valut \geq 6 mm	70	80
Valut < 6 mm	60	70

Taulukko 8-1. SFS-EN ISO 1461-standardin mukaiset kerrospaksuudet. Jos tilauksessa ei ole muuta määritelty, käytetään tässä taulukossa esitettyjä kerrospaksuuksia.

9. Tarkastustoiminta

Alin kerrospaksuutta ja ulkonäköä koskeva laatuvaatimus esitetään yleensä standardissa SFS-EN ISO 1461. Jotta edellä mainitut vaatimukset täytetään, tulee asiakkaan ilmoittaa kuumasinkitykselle tiedot teräslaadusta ja halutusta pinnoitteen paksuusluokasta standardin mukaisesti (ks. luku 8). Kuumasinkitystyön tulee selostaa asiakkaalle rakenteen suunnitteluun liittyvät seikat parhaan mahdollisen kuumasinkitystuloksen saavuttamiseksi.

9.1. Alakohtaiset standardit

Nordic Galvanizers on yhteistyössä kuumasinkitystyön kanssa laatinut alakohtaiset standardit seuraaville alueille:

- kerrospaksuuden hallinta
- jälkikäsitteily
- tarttuvuuden mittaus

Alakohtaisessa standardissa ”Kerrospaksuuden hallinta” esitetään ohjeita paikallisen ja keskimääräisen kerrospaksuuden mittaukseen. Erityisesti paikallisen kerrospaksuuden mittauksessa tehdään usein virheitä, koska luullaan, että yksittäinen mittaus muodostaa paikallisen arvon. Sen sijaan pitää määrittellä rajattu koealue, josta otetaan kolme tai viisi mittausta. Näiden yksittäisten mittaustulosten keskiarvo on paikallinen kerrospaksuus. Kolmen tai viiden koealueen keskiarvo muodostaa sitten keskimääräisen kerrospaksuuden. Alakohtaisessa standardissa ”Jälkikäsitteily” annetaan kolme työstöluokkaa, joista valitaan yksi halutun laatu-tason perusteella. Standardissa määritellään myös, kuinka suuri pinnoittamaton alue saa olla ja kuinka se käsitellään, esim. maalaamalla sinkkipölymaalilla tai pinnoittamalla sinkkijuotteella.

Alakohtainen standardi ”Tarttuvuuden mittaus” sisältää tietoa siitä, kuinka tarttuvuuden tarkastus suoritetaan ja mitä odotuksia eri sinkkipinnoille voidaan asettaa. Vaatimukset ovat hieman erilaiset riippuen siitä, koostuuko pinta puhtaasta sinkistä vai rautasinkkifaasista. Koes-tuksessa käytetään v-teräistä meistiä, jonka annetaan osua sinkkipintaan tietyllä jousivoimalla. Alakohtaiset standardit löytyvät osoitteesta www.nordicgalvanizers.com. Edellä mainitut standardit sekä laadunvarmistus muodostavat pohjan kuumasinkityksen valvonnalle ja koestukselle.

9.2 Paksuus

Yksittäin kuumasinkittäville kappaleille käytetään useimmiten magneettisia mittausten menetelmiä sovellet-tavan standardin mukaisesti. Ne ovat nopeita ja hel-posti suoritettavia eivätkä riko kappaletta tai sen pinta-käsitteilyä. Laitteen käyttöä esitellään kuvassa 9-1.



Kuva 9-1. Sinkkikerroksen paksuus mitataan magneettisella menetelmällä.

Kiistanalaisissa kohteissa käytetään mikroskooppia, kts. kyseinen standardi.

9.3 Ulkonäkö

SFS-EN ISO 1461:ssa ja vähän muussa muodossa myös muissa standardeissa sanotaan ulkonäöstä: Tarkasteltaessa kuumasinkityn tuotteen edustavaa pintaa (pintoja) paljaalla silmällä täytyy pinnan olla tasainen eikä siinä saa olla näkyviä vikoja kuten kuplia, piikkejä, pinnoittamattomia kohtia. Pisaroita ja paksuja valumia ei sallita siellä, missä ne voivat vaikuttaa haitallisesti kuumasinkityn tuotteen käyttöön. Pinnoitetun kappaleen tulee olla puhdas ja virheetön.

Tummanharmaita alueita, pinnan epätasaisuutta ja varastoinnin aikana muodostunutta huokoista, vähäistä valkoista (valkoruostetta) korroosiotuotetta ei tule sellaisenaan pitää hylkäämisen syynä.

Mikäli valkoruostetta ei voida lainkaan hyväksyä, se on ilmoitettava tilauksessa. Koska pinnoite on raudan ja sulan sinkin välisen kemiallisen reaktion tulos, pinnot-tuvat vain pinnat, jotka sinkki voi kostuttaa. Huonosti suoritettu puhdistus paljastuu siitä, että pinnoitteessa on mustia läikkiä, jotka näkyvät helposti paljaalla sil-mällä.

Pieniä paljaita pilkkuja ei kuitenkaan aina voi välttää. Pit-kähkö alue, jonka leveys on joitakin millimetrejä, voidaan yleensä jättää paljaaksi, mutta läikkä, joka on kooltaan n. 50 mm² tai sitä suurempi, täytyy korjata.

Kuinka suuria alueita esineen pinnasta voidaan korjata tulee harkita tapaus tapaukselta ottaen huomioon esi-neen käyttö, sen koko, muoto ja käsittelymahdollisuu-det sinkkikylvyssä.

Sinkkikerroksen tasaisuutta arvioitaessa on ymmärret-tävä, että kuumasinkitys tarkoittaa esineen upotusta sulaan metalliin. Sulan metallin tulee valua pinnoilta esineen noston jälkeen. Sinkkikerroksen ulkonäköä ei senvuoksi voida verrata sähkösinkittyihin kappaleisiin, eikä myöskään mekaanisesti pyyhittyihin kuumasinkit-tyihin tuotteisiin kuten levyihin, lankoihin tai putkiin.

Tiettyjä epätasaisuuksia kuten, paksumpia kohtia, kuonaa padan pinnalta jne. ei aina voida välttää. Se mitä voidaan hyväksyä riippuu esineen koosta, muodosta ja käsiteltävyydestä sulassa sinkissä.

Standardin viittaus kappaleen tulevaan käyttöön edellyttää, että kuumasinkitsijä on tietoinen siitä ja että hänellä on sen vaatimuksista sama käsitys kuin tilaajalla. Jos tilaajalla on erityisvaatimuksia pinnoitteen tasaisuudelle ja ulkonäölle, tulee niistä keskustella jo tarjousvaiheessa.

Pieniä epätasaisuuksia, jotka eivät haittaa käyttöä tai mainittavasti häiritse ulkonäköä, ei tarvitse korjata. Viilaaminen tai hiominen aiheuttaa usein enemmän haittaa kuin hyötyä. Vähäiset kuonajätteet tai kohoumat tasoittuvat yleensä parin vuoden kuluessa niin, että ne tuskin ovat häiritseviä.

9.4 Tarttuvuus

Pinnoitteen tarttuvuus tarkoittaa yleensä sen kykyä kestää mekaanisia rasituksia, esim. taivutusta, kiertoa tai iskuja. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä ohutlevyille ja langoille, kun taas yksittäin kuumasinkittyjä kappaleita koskevat vaatimukset ovat vähäisemmät. Sinkkikerroksen rakenne vaikuttaa siihen, että tietyt pinnoitteet kestävät enemmän mekaanista rasitusta kuin toiset. Aiemmin ei ollut olemassa kunnollista menetelmää tarttuvuuden mittaamiseen, mutta nykyään on olemassa menetelmä, joka ottaa huomioon sinkkikerroksen rakenteen. Suorittaminen ja vaatimukset on kuvattu alakohtaisessa standardissa "Tarttuvuuden mittaaminen".

9.5 Toimenpiteet poikkeamatilanteissa

Toimenpiteet täytyy valita mahdollisen kuumasinkityksessä havaitun poikkeaman mukaisesti. Jos peittymätöntä pintaa on yli 0,5 %, esine on standardin mukaan sinkittävä uudelleen, mikäli tilaajan kanssa ei ole muuta sovittu.

Kun sinkkikerroksen tasaisuutta arvioidaan, on muistettava, että kuumasinkitys tehdään upottamalla sulaan metalliin. Sulan metallin pitää valua pois pinnoilta, kun esine nostetaan kylvystä. Lisäksi esineen eri kohdat ovat sinkkilylyssä eri ajan, mikä näkyy eripaksuisina sinkkikerroksina eri kohdissa.

Valkoruoste, korroosio sinkkipinnassa, ei ole reklamaatioperuste, koska tämä aiheutuu kappaleen käsittelystä kylvystä noston jälkeen. Valkoruosteelle ei tarvitse tehdä mitään, koska se häviää ulkoilmassa.

Pienehköille poikkeamille, jotka eivät haittaa toimintaa tai huomattavasti häiritse ulkonäköä, ei tule tehdä toimenpiteitä. Sinkkikerroksen viilauksesta tai hionnasta on usein enemmän haittaa kuin hyötyä.

Kun sinkittyä terästä hitsataan, hitsasualue luonnollisesti muuttuu pinnoittamattomaksi. Lisäksi osa pinnoitteesta

höyrystyy hitsausalueen molemmilla puolilla.

9.6 Toimenpiteet vaurioissa – korjaus

Mekaaniset vauriot, jotka syntyvät kuljetuksessa ja/ tai varomattomassa käsittelyssä, voivat myös joskus olla niin suuria, että korjaus on tarpeellinen. Sinkityn teräksen hitsauksessa itse hitsipalko jää ilman pinnoitetta. Sen molemmilla sivuilla höyrystyy myös osa pinnoitteesta. Pinnoitteen vauriot on suojattava mahdollisimman pian. Hitsauksen ollessa kyseessä tämä on tehtävä mieluummin heti hitsauksen päätyttyä. Pinta on silloin ruosteeton, eikä siinä ole mitään epäpuhtauksia, ja se on helppo käsitellä. Korjaus voi tapahtua seuraavalla tavalla:

Maalaus sinkkipolymaalilla. Jos toimenpide suoritetaan heti, kun hitsi on jäähtynyt, ei tarvita suihkupuhdistusta. Irralliset oksidi- ja hitsauskuonajätteet poistetaan teräsharjalla. Jos hitsauksesta on kulunut niin pitkä aika, että pinta on ehtinyt ruostua, se on puhdistettava suihkupuhdistamalla tai hiomalla. Puhdistus tulee tehdä varovasti, niin että lähellä oleva sinkkipinnoite ei vaurioidu.

Nyrkkisääntönä on, että pitkänomaiset alueet, joiden leveys on joitakin millimetrejä, jätetään yleensä korjaamatta. Vaurio "korjautuu itsestään". Paikalliset laikut, jotka ovat suurempia kuin n. 500 mm², tulee kuitenkin korjata. Kuumasinkityksessä syntyneet mustat laikut johtuvat useimmiten jostakin pinnalla olleesta epäpuhtaudesta. Jollei vaurio ole niin suuri, että uudelleensinkitys on välttämätön, puhdistus ja maalaus sinkkipinnoitella maalilla on suositeltavaa.

9.7 Approved Galvanizer - Sertifioidut kuumasinkitsijät rakennustuotteille

Valitsemalla Approved Galvanizer -sertifioidun kuumasinkitsijän varmistetaan, että kuumasinkityksen laatu ja toteutus sopivat kantaviin rakenneosiin, jotka rakenevalmistaja aikoo varustaa CE-merkinnällä. Yritykset, jotka ovat saaneet oikeuden käyttää itsestään Approved Galvanizer -nimikettä, ovat suorittaneet kuumasinkitysalalle mukautetun sertifiointin ja muun muassa osoittaneet täyttävänsä seuraavat standardit: (asiaankuuluvat osat)

EN ISO 1461
EN ISO 14713-2
EN 1090-2 (asiaankuuluvat osat)



Nordic Galvanizers on luonut Approved Galvanizer -sertifiointin yhdessä asiakasedustajien, MVR-toimialajärjestön ja Nordcertin kanssa, jotta kuumasinkityksen valinta korroosiosuojaukseksi olisi teräsrakenteiden valmistajille helppoa ja turvallista

10. Sinkkipinnoitteiden korroosio

Teräs on aikamme käytetyin materiaali. Valitettavasti teräksen merkittävä haittapuoli on suuri korroosionopeus. Siksi teräsesineiden ja -rakenteiden suojaamisella on suuri taloudellinen merkitys.

Paras korroosiosuoja saadaan aikaan sinkin avulla. Sinkkipinnoite suojaa terästä kahdella tavalla:

- Sulkuvaikutuksella eli estämällä hapen ja kosteuden pääsyn teräspinnalle.
- Katodisella suojausvaikutuksella naarmuissa, iskujäljissä, leikkausreunoissa yms.

Sinkki on epäjalo metalli, jolla on suuri korroosiotai-pumus. Korroosionopeus pysyy kuitenkin matalana useimmissa ympäristöissä, mikä johtuu sinkin pintaan nopeasti muodostuvista korroosiotuotteista, jotka puolestaan tarjoavat suojan korroosion etenemistä vastaan.

10.1 Korroosio ilmassa

Kun kuumasinkitty esine nostetaan sinkkikylvystä, yhtyy ilman happi välittömästi sinkkipinnoitteeseen muodostaen sinkkioksidia. Prosessi aiheutuu ilman vesi- ja hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksesta, ja sen tuloksena muodostuu emäksisiä sinkkikarbonaatteja. Nämä muodostavat tiiviin kerroksen, jolla on erinomainen kiinnipyyvyys. Koska karbonaattien vesiliukoisuus on hyvin alhainen, ne muodostavat hyvän suojan sinkitylle pinnalle (15). Ilma sisältää kuitenkin myös rikkidioksideja, jotka muuttavat emäksisen sinkkikarbonaatin helpommin liukeneviksi sinkkisulfidiksi ja sinkkisulfaatiksi. Ilman rikkidioksidipitoisuus on kuitenkin laskenut voimakkaasti viime vuosina (kuva 1-2), minkä ansiosta myös sinkin korroosio on vähentynyt.

Ilman rikkidioksidipitoisuus vaikuttaa siis korroosionopeuteen. Korroosiota tapahtuu siksi enemmän teollisuusilmastossa kuin kaupunki- ja maaseutu-ympäristössä. Altistuskulmalla on merkitystä kaikissa ympäristöissä. Korroosio on nopeampaa vaakatasoisella kuin pystysuoralla pinnalla. Suojassa olevat pinnat syöpyvät vähemmän kuin suojattomat.

Sinkkipintaan, joka altistuu ilman vaikutukselle joitakin kuukausia, syntyy vaaleanharmaa mattapinta (kuva 10-1). Meriympäristössä sinkin korroosioon vaikuttaa ilman suolapitoisuus. Meri-ilmassa on kuitenkin myös pieninä pitoisuuksina magnesiumsuoloja, joilla on hyvä passivoiva vaikutus, joka hillitsee korroosiota. Lisäksi suolapitoisuus vähenee nopeasti sisämaahan päin mentäessä.



Kuva 10-1. Altistunut pinta, jossa sinkkipinnoitteen ulko-kerros on puhdasta sinkkiä. Kirkas pinta katoaa ja korvautuu harmailla korroosiotuotteilla, joita joskus kutsutaan sinkkipatinaksi.

Sinkin korroosioon vaikuttavat siis monet tekijät. Siksi korroosionopeudelle ei ole mahdollista antaa yleispätevää kaavaa. Sinkkipinnoitteita on kuitenkin käytetty kauan suojaamaan terästä ruostumiselta mitä vaihtelevimmissa olosuhteissa, minkä ansiosta sinkin korroosioista ja korroosionopeudesta eri ympäristöissä tiedetään paljon. Nykyään esimerkiksi tunnetaan sinkkipinnoitteita, jotka ovat olleet altistuneena yli sata vuotta.

10.1.1 Punaruskea värjäytyminen

Piillä tiivistetyt teräkset, joissa rautasinkkifaasin osuus sinkkikerroksessa on korkea, voivat jonkin aikaa altistuneena oltuaan saada punaruskean värisävyn, joka syvenee ajan myötä. Rautasinkkifaasi korrodoituu, missä yhteydessä siitä vapautuu rautaa, joka muodostaa ruostetta ilman tai sadeveden kosteuden vaikutuksesta. Ruosteella on voimakas värjäävä vaikutus, ja jopa pienet määrät saattavat saada aikaan merkittävää värjäytymistä (kuva 10-2).

Voimakasta värjäytymistä pidetään helposti merkinä ruostesuojauskyvyn heikentymisestä tai katoamisesta.

Tämä pitää harvoin paikkansa. Rautasinkkiseos suojaa terästä paremmin kuin puhdas sinkki – jopa 30 % parannuksia on havaittu (16). Värjäytynyt pinta voidaan



Kuva 10-2. Punaruskea värjäytyminen.

hyvin maalata, jos niin on ulkonäkösyistä tarpeen. Eräällä värjäytyneellä valopylväällä, joka oli ollut käytössä yli 30 vuotta, oli mittauksissa todettu olevan n. 70 mikrometrin sinkkikerros jäljellä, mikä pidentää sen käyttöikää noin 50 vuodelle.

10.2 Korrosio nesteissä

Kuten ilmassa tapahtuvassa korroosiossa myös nesteeseen asetettu sinkkipinta peittyy yleensä korrosiotuotteista muodostuvalla suojakerroksella. Nesteet voivat olla happamia tai emäksisiä ja sisältää liuenneena tai kiinteinä hiukkasina olevia syövyttäviä aineita. Nesteen virtausnopeudella ja lämpötilalla on myös suuri merkitys. Nämä tekijät yhdessä aiheuttavat sen, että suojakerroksen koostumus voi vaihdella suuresti tai että sitä ei muodostu ollenkaan.

Sähkökemiallisella korroosiolla, jonka merkitys ilmassa on toisarvoinen, on suuri merkitys nesteissä. Sähkökemiallinen korrosio riippuu nesteen sähkönjohtokyvystä. Siitä puolestaan riippuu, miten pienille tai suurille alueille sinkin suojavaikutus ulottuu.

Suurin merkitys on nesteen pH-arvolla. Sinkin korrosionopeus on yleensä suhteellisen alhainen ja vakaa, kun pH on 5,5–12,5 ja lämpötila 0–20 °C.

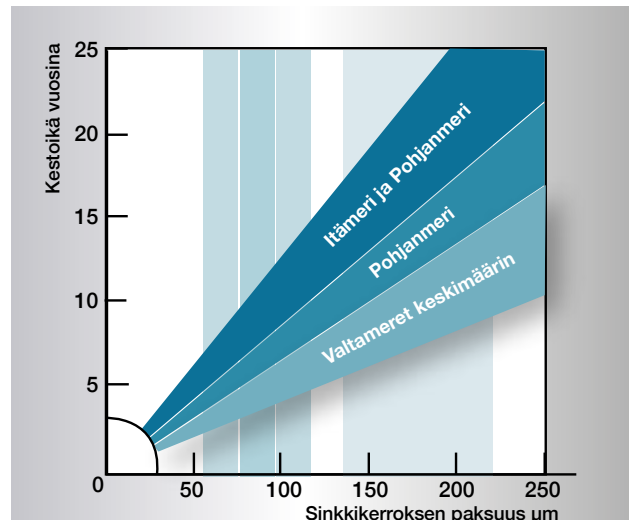
Kovat vedet, jotka sisältävät kalkkia ja magnesiumia, ovat vain vähän syövyttäviä. Nämä aineet muodostavat yhdessä hiilihapon kanssa sinkkipinnalle niukkaliukoisia karbonaatteja ja saavat aikaan pysyvän suojakerroksen, joka estää korroosion jatkumisen.

Pehmeät vedet syövyttävät usein sinkkiä, koska niistä puuttuu suojoja, minkä vuoksi suojakerrosta ei muodostu. Poikkeustapauksissa sinkin ja teräksen välillä voi tapahtua myös potentiaalivaihdos, niin että teräksestä tulee sähköparin anodi (liukeneva napa). Tällaisissa tapauksissa on olemassa pistekorroosion vaara. Hiilihappo, sulfaatit ja kloridit vastustavat potentiaalivaihdosta, joten se ei tapahdu esimerkiksi merivedessä. Erittäin puhtaassa vedessä ilmiö voi sen sijaan esiintyä.

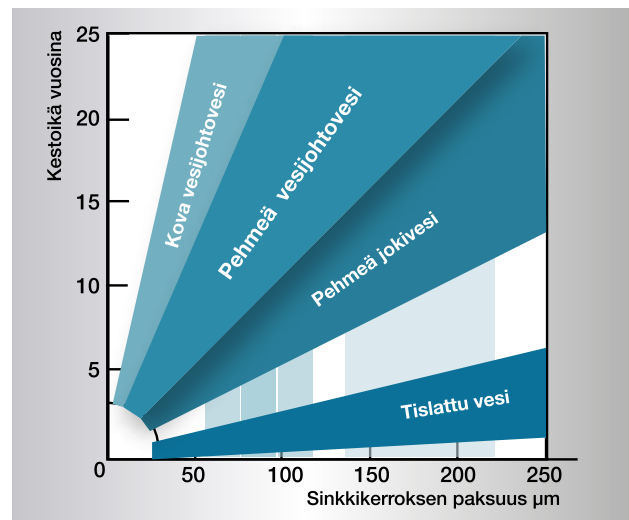
Eräiden Suomen, Norjan ja Ruotsin vesistöjen ja järvien vedet ovat syövyttäviä pehmeitä vesiä.

Jos veden virtausnopeus on yli 0,5 m/s, suojakerroksen muodostuminen sinkkipinnalle estyy ja korrosio nopeutuu.

Veden lämpötila vaikuttaa huomattavasti korroosionopeuteen. Yli 55 °C:ssa suojakerroksia muodostavien korrosiotuotteiden rakenteista tulee raemaisia ja niiden kiinnipysyvyys sinkkipinnassa heikkenee. Ne irtuvat helposti, jolloin sinkin pinta paljastuu ja syöpyy edelleen.



Kuva 10-3. Eripaksuisten sinkkikerrosten keskimääräinen kesto eri vesissä.



Korroosionopeus saavuttaa huippunsa n. 70 °C:ssa, josta se laskee siten, että 100 °C:ssa se on samansuuruinen kuin 50 °C:ssa.

Kuten tästä ilmenee, korroosioprosessin kulku vedessä on hyvin monimutkainen, ja yleispäteviä ohjeita on vaikea antaa. Käytännön kokemusta on kuitenkin olemassa, ja kuvassa 10-3 onkin esitetty ohjearvoja joillekin vesityypeille. Lisätietoa on saatavilla kirjallisuusviiteistä (17, 18, 19, 20).

10.2.1 Valkoruoste

Joskus sinkkiyllä pinoilla esiintyy valkoista, jauhemaista, paksuhkoa kerrostumaa, jota kutsutaan valkoruosteeksi tai sinkkihimeeksi (kuva 10-4). Valkoruostetta esiintyy, jos sinkityt tavarat joutuvat alttiiksi kondenssiksi tai sadevedelle, joka jää makaamaan esineiden pinnalle. Näin voi käydä paikoissa, joihin syntyy kapeita rakoja esim. toisiinsa koskettavien pintojen tai tiiviisti ladottujen levyjen välissä. Valkoruostetta syntyy hyvin harvoin sellaisille sinkkipinnoille, joilla on hyvä ilmanvaihto tai joille korroosiotuotteet ovat jo muodostaneet normaalin suojakerroksen. Syöpyminen lakkaa, kun pinta pääsee vapaasti kosketukseen ilman kanssa. Ilma kuluttaa kapaleessa olevan valkoruosteen vähitellen pois, jolloin sinkkipinta saa takaisin kuumasinkityn pinnan tavanomaisen ulkonäön.

Koska valkoruosteen tilavuus on noin 500 kertaa suurempi kuin sinkin, josta se on muodostunut, korrosio voi näyttää vaaralliselta. Useimmiten valkoruosteen aiheuttamalla syöpymällä on vain vähäinen tai olematon vaikutus korroosiosuojauksen kestoikään. Hyvin ohuisissa pinnoitteissa, esim. sähkösinkityissä esineissä, voi voimakas syöpyminen kuitenkin olla haitallinen.

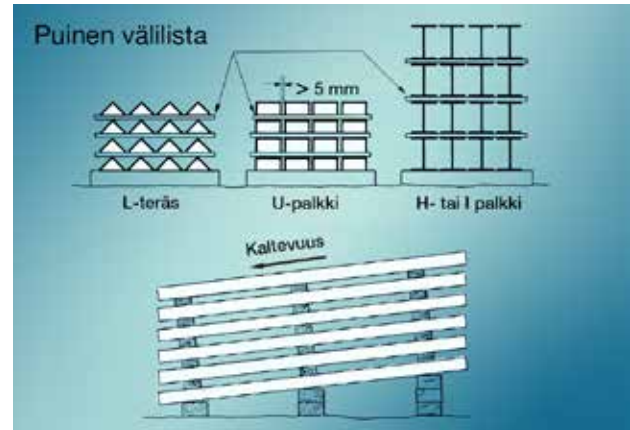
Valkoruosteen syntyminen voidaan parhaiten välttää estämällä sinkkilyvystä tulevien pintojen pääsy kosketukseen kondenssi- tai sadeveden kanssa varastoinnin tai



Kuva 10-4. Liian tiiviisti pinottuun materiaaliin syntynyttä valkoruostetta.

kuljetuksen aikana. Valkoruosteongelma voidaan välttää varastoimalla tavarat muutamaksi päiväksi katoksen alle tai asettamalla ne niin, että vesi valuu pois ja ilma vaihtuu kaikilla sivuilla (kuva 10-5).

Jo muodostunut valkoruoste voidaan poistaa kohtuullisella mekaanisella tai kemiallisella käsittelyllä. Kuumasinkitysstandardin mukaan valkoruoste ei ole hyväksyttävä reklamaatioperuste.



Kuva 10-5. Valkoruoste vältetään pakkaamalla tavara välitukien avulla siten, että ilmankierto toimii, sekä kallistamalla tavara niin, että sen päälle ei kerry vettä.

10.3 Korrosio maaperässä

Korroosio-olosuhteet maaperässä ovat hyvin monimutkaiset ja vaihtelut voivat olla hyvin suuria jopa toisiaan lähellä olevissa paikoissa. Suomen maaperä ei yleensä ole kovin syövyttävää (kuva 10-6). Sinkin keskimääräinen syöpyminen on 5 µm vuodessa. Erittäin syövyttävät maalajit ovat harvinaisia.

Maaperän syövyttävyyttä voidaan mitata esimerkiksi mittaamalla sen sähkövastus (kuva 10-7). Jos maaperän sähkövastusta ei voida määrittää, voidaan kuitenkin tehdä päätelmiä kuvassa 10-6 esitettyjen nyrkisääntöjen avulla. On kuitenkin suositeltavaa kysyä aina neuvoa asiantuntijoilta, kun metalleja halutaan asettaa kosketuksiin maaperän kanssa.

Maalaji	Syövyttävyys
Kalkki, kalkkisavi- ja kalkkihiekkasaviseokset moreeni	Alhainen
Hiekka, sora	Kohtalainen
Savi, turve, suoperäinen maa, humuspitoinen maa	Korkea

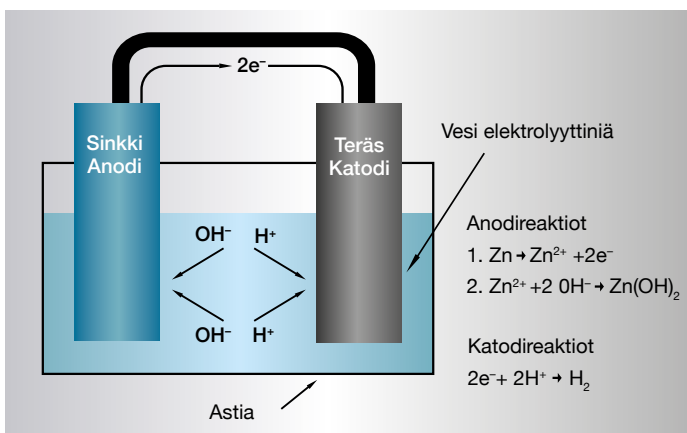
Kuva 10-6. Eri maalajien syövyttävyyttä.

10.4 Sähkökemiallinen korrosio

Jos kaksi eri metallia tai metalliseosta on yhteen liitettyinä sähköä johtavassa liuoksessa, elektrolyytissä muodostuu galvaaninen pari. Metallien potentiaalit kyseessä olevassa elektrolyytissä ratkaisevat, kummasta tulee anodi, kummasta katodi.

Merivedessä, joka usein vastaa käytännön olosuhteita, asettuvat eri metallit ja metalliseokset taulukon 10-10 mukaiseen järjestykseen sähkökemiallisessa jännitesarjassa.

Jos teräs yhdistetään kupariin tai messinkiin, tulee teräksestä sähköparin anodi, joka syöpyy. Jos teräs sitä vastoin kytketään kadmiumiin, alumiiniin, sinkkiin tai magnesiumiin, tulee teräksestä katodi, joka ei syövy, kun taas anodimetalli syöpyy, kuva 10-8.



Kuva 10-8. Galvaaninen korrosio: sinkki kontaktissa teräkseen vedessä.



Kuva 10-10. Galvaaninen jännitesarja merivedessä 25 °C lämpötilassa.

Nr	N:o Syövyttävyys	Maan laatu	Vastus (ohm)	Suojausmenetelmä
1	Alhainen	Kuiva	> 100	Kuumasinkitys > 200 µm
2	Alhainen	Kostea	> 450	Kuumasinkitys > 200 µm
3	Kohtalainen	Kuiva	< 100	Kuumasinkitys > 200 µm sekä 0,5 mm syöpymisvara joka puolella
4	Kohtalainen	Kostea	150 - 450	Kuumasinkitys > 200 µm sekä 1 mm syöpymisvara
5	Korkea	Kostea	50 - 150	Kuumasinkitys > 200 µm sekä 1 mm syöpymisvara
6	Hyvin	Kostea tai jos H ₂ SO ₄ voi muodostua	< 50 - 100	Kuten kohta 5, mutta syöpymisvara 1,5 mm joka puolella

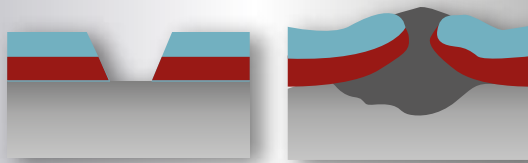
Kuva 10-7. Maaperän syövyttävyys eri vastuksilla sekä ehdotukset sopivasta korroosiosuojauksesta.

Sinkkipinnoite



Muodostuu sähköpari. Sinkki syöpyy vioittuman ympärillä. Korrosiotuotteen saostuvat teräksen pinalle ja suojaavat sitä. Teräs säilyy myös sen vuoksi, että se on katodinen sinkkipinnoitteeseen nähden.

Maalipinnoite



Teräs ruostuu maalikerroksen vahingoittuessa. Ruoste tunkeutuu maalikerroksen alle ja irrottaa sen. Korrosio jatkuu kunnes vika on korjattu

Terästä jalompi metalli-pinnoite



Terästä jalommat pinnoite-metallit, esim. nikkeli, kromi ja kupari aiheuttavat pinnoitteen vahingoittuessa voimakkaamman syöpmisen kuin suojaamattomalla teräksellä. Korrosio tapahtuu usein pistesyöpymänä, joka saattaa jopa läpäistä teräksen.

Kuva 10-9. Kaaviokuva vauriokohdan vaikutuksesta eri tyyppisiin ruostesuojapinnoitteisiin.

10.4.1 Sinkityksen katodinen suojauskyky

Kuumasinkityssä teräksessä on sinkki tiukasti kiinni teräksessä. Jos sinkkipinnoite vaurioituu, syntyy kosteuden läsnäollessa galvaaninen pari. Elektrolyytti voi olla kondenssivettä tai sadevettä. Tässä parissa sinkistä tulee anodi eli liukeneva napa, joka syöpyy. Paljaasta teräksestä tulee katodi, joka ei syövy.

Alkuvaiheessa voidaan usein nähdä heikkoa ruosteenmuodostusta paljaalla teräspinnalla, mutta jälkepäin syntyy vaaleanharmaita kohtia, jotka vähitellen peittävät koko vioittuneen alueen, kuva 10-11. Sinkkipinnoite

syöpyy ja niukkaliukoiset sinkkiyhdisteet kulkeutuvat sähköparin katodille, jossa ne suojaavat terästä korroosiota. Tätä kutsutaan usein "itsestään korjautumiseksi", mutta se on harhaanjohtava sanonta, koska sinkkipinnoite ei palaudu ennalleen.

Jos sinkitty kappale on vedessä, eivät sinkin korrosiotuotteet aina saostu vaurioituneeseen kohtaan vaan huuhtoutuvat pois etenkin virtaavassa vedessä. Suojausvaikutus säilyy kuitenkin, ellei paljas teräspinta ole liian suuri. Terästä suojaa sähkövirta, joka kehittyy galvaanisessa parissa, kun sinkki syöpyy.

Katodisen suojan ansiosta ei ruoste pääse "ryömiään" pinnoitteen alle vauriotapauksissa samalla tavoin kuin maalipinnoitteissa tai sellaisissa pinnoitteissa, jotka ovat jalompia kuin teräs, kuva 10-9.



Kuva 10-11. Paksuudeltaan 60 µm olevaan sinkkierrokseen on jyrsitty 6 mm leveä ura, joka ulottuu teräkseseen saakka. Näyte on sitten asetettu alttiiksi rasittavalle teollisuusmeri-ilmastolle Alankomaissa 5 vuoden ajaksi. Huomaa sinkkisuoloista koostuva pinnoitekerros urassa sekä ruosteen täydellinen puuttuminen.

Terästen sinkkipinnoitteet ovat siten ainutlaatuisia siinä suhteessa, että suurehkotkaan viat pinnoitteessa eivät merkittävästi huononna ruosteenestokykyä. Katodisen suojan laajuus on kokonaan riippuvainen siitä, mikä elektrolyytti aikaansaa parin. Normaalisissa ilmastorastituksessa suojavaikutus on joitakin millimetrejä. Merivedessä sitä vastoin suojavaikutus ulottuu huomattavasti kauemmaksi.

10.4.2 Galvaaninen korrosio sinkityssä teräksessä, joka on kontaktissa betoniin valetun raudoitusteräksen kanssa

Jos kuumasinkitty teräs pääsee kontaktiin betoniin valetun raudoitusteräksen kanssa ja läsnä on elektrolyytti, saattaa muodostua galvaaninen korrosiopari. Tämä ongelma on havaittu sekä tieympäristöissä, joissa kuumasinkityt tolpat ovat tulleet kontaktiin siltojen raudoituksen kanssa, että eläinsuojissa, joissa on syntynyt kontakti potentiaalitasatun rakennuksen kanssa.

Kun tavallinen hiiliteräksestä valmistettu raudoitusteräs valetaan betoniin, se muuttuu passivoiduksi (jaloksi), mikä tarkoittaa sitä, että se saa ruostumatonta terästä vastaavan korrosiopotentiaalin. Jos eläinsuojan sisustusrakenteen, joka tavallisesti on kuumasinkitty, yhdistetään betoniin valettuun raudoitusteräkseseen, syntyy galvaaninen pari, jossa joissakin tapauksissa on havaittu

hyvin nopea sinkin korroosio.

Kun sinkki on syöpynt pois, syöpyminen jatkuu sen alla olevassa teräksessä, mikä aiheuttaa ajan kuluessa tolppien ja listojen rikkoutumisen ruostumisen tähden. Syynä on se, että nesteessä, lannassa tai kuivikkeessa olevien rakenteiden teräksen korroosio potentiaali on huomattavan negatiivinen (epäjalo) verrattuna betonin sisässä olevan raudoitukseen, joka on passivoitu. Huolimatta siitä, että kyseessä on samantyyppinen teräs, erilaiset käyttöympäristöt aiheuttavat sen, että betonin raudoitusteräksestä tulee galvaanisen parin katodi ja kosteudelle altistuneesta teräksestä anodi.

Galvaanisessa korroosiossa myös katodin (jalompi metalli) ja anodin (epäjalompi metalli) koolla on tärkeä merkitys. Tässä tapauksessa teräsverkon (katodi) koko on suuri suhteessa kuumasinkittyyn teräkseen, jonka anodipinta koostuu yksinomaan siitä pienestä paikallisesta alueesta, jossa elektrolyytti on kosketuksessa metalliin. Tämä epäedullinen kokosuhde osaltaan nopeuttaa korroosiota.

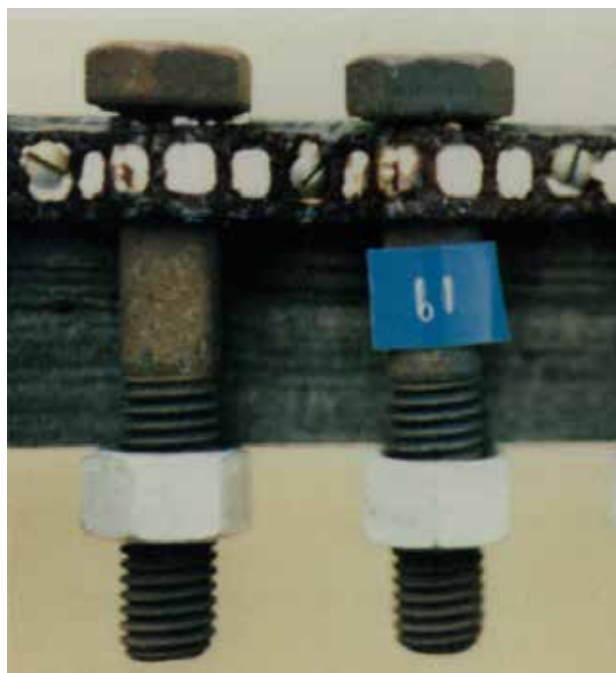
Korroosio vaurioita havaitaan esim. eläinten pilttuiden alaosan rakenteissa, jotka altistuvat virtsalle ja lannalle, sekä eläinten vesikuppien yhteydessä. Korroosion etenemisnopeus riippuu useista eri tekijöistä. Altistuneiden pintojen kuivana- ja märkänäoloaikojen suhde, kuivikkeen tyyppi, eläinten käyttäytymistapa ja tallin rakenne (pilttuu, karsina, vapaa kulku) vaikuttavat korroosion etenemiseen. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että kuivikemateriaali, jolla on suuri imukyky, kuivattaa ympäristöä ja pienentää kiihtyneen korroosion riskiä.

Tieympäristöissä galvaaninen korroosio tapahtuu tolppien tyviosassa, jossa elektrolyytti on läsnä sadeveden, lumisohjon ja maantiesuolan muodossa.

Korroosion pysäyttämiseksi tulee katkaista joko yhteys kuumasinkityn teräksen ja betoniraudoituksen välillä tai yhteys kuumasinkityn teräksen ja elektrolyytin välillä. Viimeksi mainittu voidaan tehdä esim. konstruktio muutoksen avulla tai eristämällä kuumasinkityn teräksen alttiit alueet maalilla tai muulla materiaalilla.

10.4.3 Sinkkipinnoitteet kontaktissa muiden metallien kanssa

Kuten kuvasta 10-10 ilmenee, sinkki on epäjalompi kuin useimmat käyttömetallit, joten sinkki suojaa niitä korroosiolta. Tällaisia yhdistelmiä on kuitenkin periaatteessa vältettävä, ja eräs hyvä keino on käyttää sähköä johtamattomia välikerroksia, jotka on tehty muovista tai kumista.



Kuva 10-12. Kuumasinkitty ruuvi, jossa on haponkestävät mutterit, 15 vuoden altistumisen jälkeen meriympäristössä. Merkityksetön määrä galvaanista korroosiota.



Kuva 10-13. Messinkiruuvi sinkityssä teräksessä syövyttää sinkkiä.

Ilmassa tai melko kuivissa ympäristöissä alumiinia ja ruostumattomia teräksiä voidaan usein yhdistää suoraan sinkittyyn materialiin ilman, että syntyy merkittävää korroosiota (ks. kuva 10-12). Varovaisuutta on kuitenkin noudatettava, jotta katodipinta ei muodostu liian suureksi anodipintaan nähden. Vedessä täytyy aina käyttää eristävää välikerrosta.

Kupari ja kupariseokset ovat sähköisesti aktiivisempia. Lisäksi esiintyy kupari-ionien liukenemista, mikä aiheuttaa merkittävää syöpymistä. Siksi "värillisiä" metalleja ei koskaan saa asettaa kontaktiin sinkityn teräksen kanssa ilman välikerrosta (kuva 10-13).

10.5 Kuumasinkitty teräs kosketuksissa rakennusmateriaaleihin

Teräsbetoni on merkittävä materiaali nykyisissä rakenteissa. Moottoritien sillat, pysäköintialot, konttorirakennukset, tunnelit jne. on suunniteltu niin, että niissä hyödynnetään teräsbetonin etuja. Monissa tapauksissa betoniteräkseen ei tarvita mitään erillistä korroosiosuojausta ruostumisen estämiseksi. Kohtalaisen alkalinen ympäristö betonin sisällä synnyttää teräksen pinnalle ohuen oksidikerroksen, joka "passivoi" teräksen eli suojaa sen korroosion etenemiseltä. Joskus tämä "passivointi" ei kuitenkaan toimi riittävän hyvin suojatakseen terästä pitempiä aikoja.

Tämä tapahtuu esim. kun:

- betonissa on murtumia, halkeamia, hiekkataskuja tai ohut peitekerros
- alkalisuus on neutraloitunut
- esiintyy kloridin tunkeutumista (suolaus tai meri-il masto).

Erityisesti tämä koskee "pintaraudoitusta". Teräsbetonin vauriot ovat lisääntyneet muun muassa teiden suolaamisen ja ilman epäpuhtauksien vuoksi. Betonirakenteiden vauriot ovat yleisempiä kuin aiemmin on uskottu (kuva 10-14). Betoniraudoituksen korroosion korjaaminen on hyvin vaikeaa ja kallista. Tarve betoniraudoituksen suojaamiseen korroosiolta käy tietyissä kohteissa yhä välttämättömämmäksi.



Kuva 10-14. Pintakerroksen irtoaminen raudoituksen yläpuolelta betoniteräksen korroosion vuoksi.



Kuva 10-15 Kuumasinkittyä raudoitusta sillassa.

10.5.1 Kuumasinkitty raudoitus

Kuumasinkityksen käyttö monissa maissa on vahvistanut sen kyvyn suojata raudoitusta korroosiolta. Monissa siroissa rakennelmissa käytetään kuumasinkittyä raudoitusta betonipinnan irtoamisten ja kalliiden korjausten välttämiseksi. Pitää myös ottaa huomioon putoavien betoninkappaleiden aiheuttama turvallisuusriski erityisesti tiheästi asutuilla alueilla.

Jostakin syystä kuumasinkityksen suorittajalle annetaan usein ohje jättää rakenteen betoniin valettava osa ilman sinkkiä. Sen lisäksi, että toimenpide on täysin turha, on osittainen kuumasinkitys usein kustannuksiltaan kalliimpi kuin normaalikäsitteily. Yksi syy saattaa olla, että ennen luultiin kuumasinkityksen pinnan ja betonin välisen tarttuvuuden olevan huono. Huolelliset kokeet ovat kuitenkin osoittaneet sinkin ja betonin välisen tarttuvuuden olevan useimmissa tapauksissa niin hyvä, että ne on erotettava toisistaan moukarilla (21). Sinkkiä on jo pitkään käytetty uhratuvana anodina laivojen, laiturirakenteiden, säiliöiden ym. korroosiosuojauksessa. Käytettävistä metallisista pinnoitteista sinkki on osoittautunut kaikkein kestävimmäksi ja teknisesti parhaiten soveltuvaksi. Betoniteräksen kuumasinkitystä on käytetty monia vuosia kaikkialla maailmassa. Tämä pintakäsittely on osoittautunut luotettavaksi hyvin vaikeissakin olosuhteissa. Yksityiskohtaiset tutkimukset mm. Australiassa ja RISE KIMAB -tutkimuslaitoksessa Tukholmassa (21) ovat osoittaneet seuraavaa:

- Uudessa betonissa esiintyy lisääntyntä korroosiota vain enintään 36 tunnin ajan betonin valamisen jälkeen. Sen jälkeen sinkki on passivoitunut. Sinkin häviö on pieni (2–5 µm).
- Sinkki antaa katodisen suojan altistuvalla teräkselle, mikä on etu, kun terästä leikataan, hitsataan tai kun rauditus vahingoittuu mekaanisesti.
- Raudoitusteräksen ja betonin välinen tarttuvuus on hyvä.
- Betonipinnan irtoamisia ei tapahdu.
- Ruostevalumiinien riski betonissa eliminoiduu.
- Teräsbetonia voidaan käyttää myös syövyttävämmissäkin ympäristöissä.
- Betonin laatuvaihteluista, esim. huonosta tiivistyksestä, on vähemmän haittaa.
- Voidaan käyttää ohuempia pintakerroksia.

10.5.2 Kuumasinkitty betoniteräs klooripitoisessa ympäristössä

RISE KIMAB -tutkimuslaitoksessa suoritettujen kättännön kokeet osoittavat, että sinkki kestää hyvin klooripitoisessa ympäristössä. Kun betonin klooripitoisuus on alle 1,5 %, sinkin korroosio on merkityksetöntä, kun taas pintakäsittelemätön rauta kestää klooria selvästi huonommin. Sinkki kestää myös korkeampia klooripitoisuuksia huomattavasti paremmin kuin rauta, mutta käyttöikä lyhenee. Käsittelemättömään rautaan (teräkseen) syntyy tavallisen korroosion lisäksi pistekorrosiota, mitä sinkissä ei esiinny. Sinkitty teräs kestää myös

karbonoidussa betonissa paremmin kuin pintakäsittelymätön.

Kuumasinkitty raudoitusteräs on hyvän betonitekniikan luotettava perusta. Se minimoi teräksen korrosio- ja sen myötä betonin tuhoutumisriskejä sekä antaa voimakkaan ja kustannustehokkaan lisän betonin käyttöikänsä. Kun rakennuksen korrosioaurion kustannukset ja seuraukset analysoidaan, kuumasinkityksestä syntyvä lisäkustannus on hyvin vähäinen. Sitä voidaan lähinnä verrata edulliseen vakuutusmaksuun, joka tarvitsee maksaa vain kerran.

Vaikka kuumasinkityn raudoitusteräksen hinta saattaa olla ylimmillään 50 % kalliimpi kuin pintakäsittelymättömän raudoitusteräksen, tämä kustannuserä on kuitenkin pieni suhteessa rakennuksen kokonaiskus-

tannuksiin. Rakennuksen suunnittelusta riippuen lisäkustannukset ovat usein merkityksetön osa kokonaiskustannuksista.

10.6 Kuumasinkittyjen esineiden pakkaus ja kuljetus

Vaikka kuumasinkityt rakenteet kestävät kovaakin käsittelyä, on niitä toimitettaessa ja varastoitaessa syytä käsitellä järkevästi. Yksinkertaiset pakkaukset ja pitkien esineiden niputus eivät ainoastaan suojaa mekaanisilta vaurioilta, vaan ovat myös kuljetusteknisesti edullisia. Niput on tehtävä niin, että vältetään valkoruosteen muodostuminen. Esim. välipuiden avulla saadaan tällaiset reaktiot estetyksi, kuvat 10-16 ja 10-17.



Kuva 10-16. Kuumasinkittyjä tuotteita valmiina toimitettavaksi asiakkaalle.



Kuva 10-17. Oikein pakattuja tuotteita.

11. Sinkityn pinnan maalaus – Duplex-käsittely

Monet selvitykset ovat osoittaneet, että nk. duplex-menetelmä eli kuumasinkitys ja maalaus (kuva 11-1) on kustannustehokkain tapa suojata terästä ruosteelta, kun otetaan huomioon esineen käyttöikä ennen kuin se on maalattava uudelleen. Vaikka pelkällä kuumasinkityksellä saadaan useimmiten aikaan riittävä korroosiosuoja, voi sen vahvistaminen olla joskus toivottavaa tietyissä syövyttävissä ympäristöissä. Duplex voi tulla kysymykseen esimerkiksi silloin, kun kunnossapito on myöhemmin vaikeaa tai kun sinkkipinnoite on ohut, kuten jatkuvatoimisesti sinkityissä ohutlevyissä.

Esteettisyys, esimerkiksi halu saada harmaa sinkkipinta värikkäämmäksi, voi olla toinen syy. Esimerkkinä tästä voi olla huomioväri tai sen vastakohta eli naamiointi. Maalaamista voidaan käyttää myös teräksen suojaamiseen galvaanista korroosiota vastaan tilanteissa, joissa sinkitty teräs yhdistetään toiseen metalliin, esim. kupariin.



Kuva 11-1. Pater Noster -majakka on yksi Pohjoismaiden ensimmäisistä duplex-käsitellyistä rakenteista. Se kuumasinkittiin vuonna 1868 ja maalattiin sen jälkeen.

1.1 Duplex-käsittelyn kestoikä

Duplex-käsittelyllä on yleensä paljon pidempi kestoikä kuin kummallakaan pinnoitteella erikseen. Hollantilaiset tutkimukset (22) osoittavat, että menetelmän kestoikä voidaan laskea kaavalla

$$L_T = K(L_{Zn} + L_F) \text{ jossa:}$$

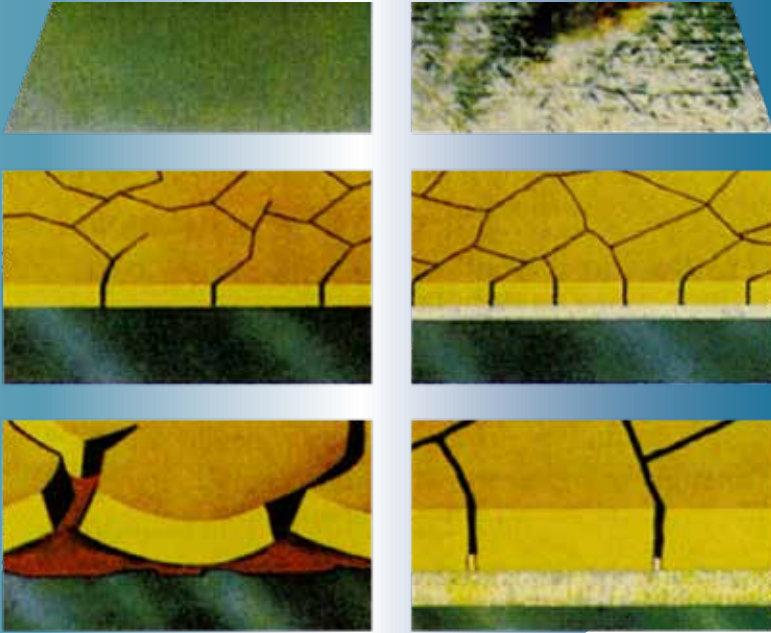
$L_T =$	duplex-käsittelyn kestoikä vuosina
$L_{Zn} =$	sinkkipinnoitteen laskettu kestoikä vuosina kyseisessä ympäristössä
$L_F =$	maalikerroksen laskettu kestoikä vuosina kyseisessä ympäristössä, jos se maalataan suoraan teräkseen
$K =$	ympäristöstä riippuva synergiatekijä joksi valitaan:
1,5	kun systeemi altistuu ympäristöluokassa C5 tai on pysyvästi upotettuna meriveiteen
1,6–2,0	altistumiselle ympäristöluokissa C3–C4 tai kun suhteellinen kosteus on n. 60 % tai vähemmän
2,1–2,3	altistumiselle ympäristöluokassa C2

Näiden synergiavaikutusten syntyminen esitetään kuvassa 11-2. Edellytyksenä kuitenkin on, että maalikerroksella on hyvä ja kestävä tarttuvuus sinkkipintaan. Tämä saavutetaan siten, että sinkkipinta puhdistetaan huolellisesti ja käytetään oikeanlaista maalia. Maalaus sinkin päälle on tässä suhteessa vaativampaa kuin maalaus monen muun materiaalin päälle. Pienet määrät epäpuhtauksia pinnalla tai väärä maalityyppi saattavat nimittäin jo lyhyen ajan kuluttua aiheuttaa kuplimista ja/tai hilseilyä.

Ennen suositeltiin, että sinkkipintaa pidettiin ulkoilmassa 1–2 vuotta ennen maalausta. Suositus oli varmasti oikein ennen 1950-lukua. Silloin ilma oli suhteellisen puhdas ainakin Pohjoismaissa ja korroosiotuotteet, jotka muodostuivat sinkkipinnalle, olivat lähes yksinomaan emäksisiä sinkkikarbonaatteja.

Altistuksen jälkeen ei siis maalattu reaktiivisella sinkkipinnalle, vaan reagoimattoman karbonaattikerroksen päälle. Tuloksesta tuli yleensä hyvä jopa sellaisilla maaleilla, joita nykyään ei pidettäisi sopivina sinkkipinnoille. Nykyään menetelmä on hyvin epävarma. Ilma sisältää nykyään paljon enemmän rikkiyhdisteitä, ja sinkin korroosiotuotteet sisältävät usein vesiliukoisia sinkkisuoloja. Huolimatta siitä, millaisella maalityypillä maalataan tällaisen vesiliukoisen kerroksen päälle, voi tulos olla kuplainen ja hilseilevä maalipinta.

Sinkkipinnan tila on selvitettävä, jotta se voidaan puhdistaa tyydyttävästi.



Kuva 11-2. Vasemmalla. Kaaviokuva osoittaa, kuinka värikerroksen mikrohalkeamat aiheuttavat teräkseen pohjaruostetta ja hilseilyä. Oikealla. Sinkitylle pinnalle maalatun värikerroksen mikrohalkeamat täyttyvät sinkin korroosiotuotteista, mutta niiden määrä on pienempi kuin teräksen ruosteen määrä eivätkä ne aiheuta hilseilyä.

11.2 Juuri sinkitty, kirkas pinta

Kirkkaan sinkkipinnan katsotaan usein olevan riittävän puhdas maalattavaksi. Usein tämä arvio on väärä, ja maalaus epäonnistuu.

Juuri sinkitty pinta on hyvä lähtökohta maalaukselle, mutta sinkkipinnoissa on aina korroosiotuotteita, joiden koostumusta on vaikea määritellä. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin olettaa, että ne sisältävät aina vesiliukoisia tai jopa hygroskooppisia suoloja, jotka ovat huonoja maalausaloja. Suolat ja epäpuhtaudet ovat voineet syntyä varastoinnissa sinkityslaitoksella, jäädytyksessä (vedellä tai ilman) tai kuljetuksessa maalamaan. Maalaus juuri sinkitylle pinnalle tulisi tapahtua ilman vesijäähdystä muutaman tunnin sisällä kastosta, jotta pinnalla ei olisi maalausta haittaavia sinkin reaktiotuotteita. Tämä ei yleensä ole käytännössä mitenkään mahdollista. Lisäksi monet nykyaikaiset maalausjärjestelmät ja maalit vaativat alleen tietyn pintaprofiilin jotta ne pysyvät alustassaan kiinni. Kirkas sinkki on sinänsä liian ”liukas” pinta maalaukselle:

”Tuore” sinkkipinta ei siis useinkaan ole niin puhdas kuin voisi luulla. Ohuet öljy- ja rasvakerrokset, jotka tulevat käsineistä, kengistä, nostovälineistä jne. ovat haitaksi muutoin kirkkaalla ja puhtaalla pinnalla. Yllä mainittuja suoloja on myös pinnalla. Ne ovat läpinäkyviä ja vaikeasti havaittavissa paljaalla silmällä.

Aikaisemmin kuumasinkityt ohutlevyt kromattiin tai öljyttiin käytännössä aina valkoruosteen ehkäisemiseksi. Kromikerros on aina osittain vesiliukoinen, ja maalaus ei onnistu öljykerroksen päälle. Tällaiset kerrokset tulee siis aina poistaa ennen maalausta. Kromaus on ympäristöystävällisempi nykyään polymeereillä, jotka tulevat myös poistaa ennen maalausta.



Kuva 11-3. Tarkista aina maalivalmistajalta, että pohja- ja pintamaalisopivat yhteen. Tässä tapauksessa hilseily johtuu keltaisen, korkeakiiltoisen alkydimaalin yhdistämisestä harmaaseen, kumiperustaiseen pohjamaaliin (22).



Kuva 11-4. Kosteus sinkissä aiheuttanut valkoruosteen syntymisen maalikalvon alla, maalaamattomalla pinnalla sinkin laatu on virheetön.

11.3 Vanhat, himmeät sinkkipinnat

Vanhoissa, himmeissä sinkkipinnoissa on aina korroosiotuotteita. Näiden koostumusta on vaikea määritellä. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin olettaa, että ne sisältävät aina vesiliukoisia tai jopa hygroσκοoppisia suojoja, jotka ovat huonoja maalauslustoja. Ne on puhdistettava aina ennen maalausta.

Maalit päästävät aina jossain määrin vettä lävitseen. Se merkitsee, että maalikalvon alle, jolle vesiliukoisia tuotteita oteta pois sinkkipinnalta, tulee muodostumaan kuplia, jotka ovat täynnä suolaliuosta. Suolaliuksessa ei ole paljon suojakalvoa muodostavia aineita ja seurauksena on sinkkikerroksen syöpyminen. Korroosio etenee maalin ja sinkin väliin irrottaen maalikalvon.

11.4 Puhdistus ja esikäsittely

Kokemus osoittaa, että suihkupuhdistuksella (hiekkapesu tai pyyhkäisysuihkupuhdistus SFS-EN ISO 12944) saadaan aikaan paras maalauslusta sinkkiin. Kevyt suihkupuhdistus poistaa korroosiotuotteet ja muut epäpuhtaudet pinnalta - myös vesiliukoiset. Valkoruoste ja erilaiset öljyt poistuvat myös tehokkaasti. Monet sinkkipinnat ovat hyvin kirkkaita ja sileitä. Myös niille on suihkupuhdistus sopiva, koska se tekee pinnan karkeammaksi, jolloin maalikerroksen tartunta on parempi. On tärkeää noudattaa annettuja ohjeita. Huonon puhdistuksen seurauksena maalaustulos on huono, kun taas liian voimakas mekaaninen käsittely voi aiheuttaa sinkkikerroksen vioittumista tai sisäisiä jännityksiä, jotka myöhemmin voivat aiheuttaa maalikerroksen irtoamisen.

Puhallusaineiksi sopivat esimerkiksi: alumiinioksidi, korundi, silikaatit, oliviinit ja kvartsi sekä luonnonhiekkä. Teräsrae ja puhallusaineet, jotka saattavat sisältää sinkkiä jalompia metalleja eivät sovellu puhallusaineiksi. Puhallusaineista jää aina pieniä määriä kiinni sinkkipintaan, jolloin pinnalle syntyy sähkökemiallisia pareja, jotka heikentävät kokonaisuutta. Raekoon tulisi olla pieni (0,2–0,5 mm), suuttimen paine matala (<4bar) ja suuttimen etäisyyden ja puhalluskulman riittäviä, jotta sinkkipinta ei vaurioidu.

Sinkkipinnan tulee olla täysin kuiva ja ympäristöolosuhteet >15 °C, < 50 REH, jotta käsittely onnistuu. Pinnankarheudeksi riittää yleensä hieno, SFS-EN ISO 8503/2 (G) mukaan pohjamaalaus tulee suorittaa kahden tunnin kuluessa pyyhkäisysuihkupuhdistuksesta.

Mikäli sinkkipintaan jää kosteutta, ovat seuraukset yleensä katastrofaaliset. Sinkissä olevan kosteuden vaikutukset eivät näy välttämättä heti maalauksen jälkeen, vaan parin vuoden kulutta. Maali sulkee kosteuden sinkkiin. Näin maalin ja sinkkipinnan väliin jää otolliset olosuhteet valkoruosteen syntymiselle. Tämä tapahtuu suhteellisen hitaasti, muutaman vuoden kuluessa. Maali saattaa irrota täysin muutaman vuoden

kulutta vaikka tartunta oli maalauksen jälkeen virheetön.

Puhallusaine:	Alumiinioksidi, korundi, sikaatteja, oliviinia, kuona-aineita.
Raekoko:	0,2-0,5 mm
Suuttimen paine:	0,2-0,3 MPa
Suuttimen etäisyys:	300-500 mm
Käsittelykulma:	30-60 °
Ympäristöolosuhteet:	20-25 °C, < 50 REH
Pinnankarheus:	Hieno, ISO 8503/2 (G) mukaan
Pohjamaalaus:	Viimeistään 20–45 min suihkupuhdistuksen jälkeen

Kuva 11-5. Kuumasinkittyjen pintojen hiekkapesua koskevat tiedot.

Jollei suihkupuhdistusta voida käyttää, suositellaan teolliseen esikäsittelyyn seuraavia toimenpiteitä:

1. Alkaalinen rasvanpoito
2. Huolellinen huuhtelu vedellä
3. Fosfointi (rauta- tai sinkkifosfaatti)
4. Huolellinen huuhtelu vedellä
5. Kuivaus (< +150 °C min 45 min)
6. Pintojen hionta parantaa aina tarttuvuutta sekä poistaa pinnalta suojoja ja epäpuhtauksia.

11.5 Maalin valinta

Maalin valinnassa tulee huomioida, että maali saattaa koostua jopa 10–15:sta eri ainesosasta. Jokaisella valmistajalla on oma reseptinsä tietyille maalityypille. Raaka-ainetoimittajilla on puolestaan eri reseptit sidosaineilleen, minkä vuoksi vaihtoehtojen määrä on hyvin suuri. Eri valmistajien samoilla maalityypeillä saattaa siksi olla tietyissä suhteissa suhteellisen erilaiset ominaisuudet. Siksi on tärkeää tarkistaa maalivalmistajalta pohja- ja pintamaalin yhteensopivuus ja että eri valmistajan pohja- ja pintamaaleja ei koskaan käytetä yhdessä.

Kuumasinkittyjen pintojen maalauksessa suositellaan käytettäväksi EN ISO 12944-5:2018 -standardin mukaisia maalausjärjestelmiä. Kuumasinkittyjen tuotteiden maalaus esitetään taulukossa D.1. Tässä taulu-

kossa kuvataan sopivat maalausjärjestelmät korroosiorasitusluokkiin C2–C5 ja eri kestoiät. Kyseiset maalausjärjestelmät on merkitty G-kirjaimella.

11.6 Jauhemaalauus

Kuumasinkittyihin tuotteisiin käytetään yhä useammin erityyppisiä jauhemaalaleja. Jos pinnanlaadulle on poikkeuksellisen korkeat laatuvaatimukset, kuumasinkityt tuotteet hiotaan tietyissä tapauksissa kokonaan, jotta saadaan pois kaikki väkäset ja pisarat, jotka saattavat haitata ulkonäköä. Lisäksi hionta antaa hyvin puhtaan pinnan, mikä tarjoaa parhaat edellytykset hyvälle tarttuvuudelle. Maalattava esine käy useassa esikäsitteilykylvyssä ennen jauhemaalauusta. Rasvanpoisto, huuhtelu, oksilaani, huuhtelu, fosfatoi, Bonderite ym. ovat esimerkkejä tähän kuuluvista prosessivaiheista. Sen jälkeen esine pitää kuivattaa huolellisesti. Jauhe ruiskutetaan elektrostaattisesti, minkä jälkeen esine siirtyy kovetusuniin.

Jotta jauhemaalauus saadaan onnistumaan ja kestämään samalla tavalla mitä märkemaalauus, on kyseiset tuotteet myös pyyhkäisysuihkupuhdistettava, jotta kaikki epäpuhtaudet saadaan pois ja saadaan pinnalle riittävä pintaprofiili tartunnan varmistamiseksi.

11.6.1 Pinhole-reiät

Pinhole-reiät ovat pieniä reikiä maalikerroksessa, joiden koko voi vaihdella pienestä ”neulanpistosta” suurehköihin huokosiin. Reiät ovat ennen kaikkea esteettinen ongelma. Korroosiosuojaus säilyy hyvänä sinkin hyvän suojausvaikutuksen ansiosta, mutta pinnat voivat näyttää vähemmän houkuttelevilta.

Pääasiallinen syy pinhole-reikien syntyyn on sinkkipintojen kosteus ja valkoruoste, jotka aiheuttavat kaasun muodostumista kovettumisprosessin aikana. Pinhole-reikien muodostumiriski voidaan välttää tai sitä voidaan vähentää seuraavin keinoin:

- Sinkkipinnalla ei saa olla epäpuhtausjäämiä eikä epätasaisuuksia.
- Vältä kappaleiden altistusta kostealle ympäristölle – vältä valkoruosteen muodostumista.
- Valitse oikea teräslaatu kuumasinkitykseen, mieluiten materiaali, joka piipitoisuus on matala, alle 0,03 %. Oikea teräslaatu takaa tasaisen pinnan ja kestää hyvin suihkupuhdistusta.
- Varmista, että jauhemaalauusta edeltävä fosfaattikerros on ehtinyt kuivua kunnolla.
- Esilämmitä tuotteet.
- Käytä reikien muodostumista ehkäisevää jauhetyyppiä.
- Käytä jauhetta, jonka viskositeetti on matala ja joka valuu helposti pois.
- Paksu jauhemaalauuskerros voi joissakin tapauksissa estää näkyviä huokosia aukeamasta esineen pintaan.
- Madalla uunin lämpötilaa.
- Nosta lämpötilaa hitaasti jauhemaalauksen uunituksessa.

11.7 Huomioita duplex-käsittelystä

Kuumasinkityksen suorittajan pitää tietää etukäteen, tullaanko tavara duplex-käsittelyyn, koska käsittely asettaa pinnoille korkeammat vaatimukset. Käytä ensisijassa terästä, jossa on ylimpänä puhdassinkikerros, sillä se kestää suihkupuhdistusta parhaiten. Jos piillä tiivistettyä terästä on jo käytetty, kerro asiasta maalariille. Jos maalauksen ja kuumasinkityksen suorittaa eri yritys, varmista yrityksen ammattitaito, varusteet ja kokemus kuumasinkittyjen tuotteiden pintakäsittelystä.



Kuva 11-6. ”Blå huset”, puistonpenkki, roskakori ja pyöräteline jauhemaalattua, kuumasinkittyä terästä.

12. Sinkityn teräksen hitsaus

Sinkittyä terästä voidaan hitsata samoilla menetelmillä kuin pinnoittamatontakin terästä. Sinkkikerroksen häiritsevän vaikutuksen takia ei kuitenkaan aina voi käyttää mustalle teräkselle tarkoitettuja hitsausarvoja. Se kuinka suuri tämä häiritsevä vaikutus on, riippuu sinkkipinnoitteen paksuudesta, koostumuksesta ja rakenteesta.

Pääasiallisimmat ongelmat ovat:

- lisääntyvä roiskemuodostus

- pienempi tunkeuma

- lisääntyvä huokosmuodostus

- lisääntyvä raerajamurtumisvaara hitsatussa kappaleessa

- lisääntyvä savunmuodostus.

12.1 Roiskeet, tunkeuma, huokoset ja halkeamat

Roiskeet ovat suuri ongelma MIG-hitsauksessa. Roiskeet voivat vaikeuttaa pienahitsausta tietyissä asennoissa ja langansyöttö saattaa häiriintyä roiskeiden juuttuessa hitsauspistoolin suukappaleeseen. Roiskeet voivat kiinnittyä hitsin viereisiin pintoihin ja huonontaa ulkonäköä.

Tunkeuma pienenee, koska sinkkikerros teräksen päällä alentaa kaarijännitettä ja hitsausvirta pienenee.

Huokosia muodostuu, kun höyrystynyt sinkki ja kaasut eivät ehdi poistua sulasta ennen jäähmettymistä. Puikkohitsauksessa tämä ongelma ei ole kovin tavallinen. MIG-hitsauksessa erityisesti kaksipuoleisissa pienahitsauksissa huokoisuus on yleisempää.

Hitsin raerajamurtumia voi esiintyä lähinnä T-liitoksissa, jos ainevahvuudet puikkohitsauksessa ovat yli 13 mm ja MIG-hitsauksessa yli 6,5 mm.

12.1.1 Roiskeiden, pienentyneen tunkeuman, huokosten ja raerajahalkeilun eliminointi

Ongelmat voidaan helposti poistaa tai niitä voidaan vähentää hyväksyttävän tason saavuttamiseksi seuraavilla keinoilla:

- Käytä ”roiskespraytä”, jotta roiskeiden tarttuminen pinnoille ja hitsauspistooliin MIG-hitsauksessa estyisi.
- Käytä normaalia suurempia ilmarakoja, 1,5 mm MIG-hitsauksessa ja 2,5 mm puikkohitsauksessa. Tämän ansiosta tunkeuma paranee, huokosmäärä pienenee ja murtumisvaara (sinkkitunkeuma) pienenee.
- Alenna hitsausnopeutta. Liikuta puikkoa hieman railon suunnassa niin, että sinkki höyrystyy pois railosta. Tällöin huokosmäärä vähenee ja murtumisvaara pienenee.
- Viistä T-liitoksen pystylevy siten, että syntyy K- tai ½ V-railo. Täten murtumisvaara pienenee ja huokosmäärä vähenee. Tämä pätee myös pinnoittamattomalle aineelle.

12.2 Hitsauspuikkojen valinta

Pääasiallisesti tulisi käyttää puikkoja, joiden piipitoisuus on alhainen. Tällöin vähenee T-liitosten raerajamurtumien vaara massiivissa materiaalissa.

12.3 Hitsaussavut

Pinnoittamattoman teräksen hitsauksessa syntyy aina savua, joka sisältää vaihtelevia määriä rautaoksidia, otsonia, vetyä, hiilimonoksideja, typpioksideja ja fluoriideja. Sinkityn teräksen hitsauksessa ja leikkauksessa höyrystyy sinkkiä. Muodostuva sinkkioksidi on valkoinen, suuritulavuuksinen yhdiste, ja siten hyvin näkyvä kaasu.

12.3.1 Sinkkioksidin haittavaikutukset

Hengitettäessä vastamuodostunutta sinkkioksidia voi seurauksena olla sinkkikuume. Oireet muistuttavat influenssaa: kuumetta, vilunväristyksiä, päänsärkyä ja vaikeammissa tapauksissa pahoinvointia ja oksentelua.

Sinkki ei kuitenkaan varastoidu samalla tavalla kehoon kuin esim. lyijy, kadmium ja muut raskasmetallit vaan poistuu eritteiden mukana. Sinkkikuumeen oireet häviävät sen vuoksi normaalisti muutamassa tunnissa. Sinkkikuumeella ei tiedetä olevan pysyviä seurannaisvaikutuksia.

12.3.2 Suojautuminen hitsauskaasuja vastaan

Kaikessa hitsauksessa, sekä pinnoitetun että pinnoittamattoman materiaalin hitsauksessa, tulee järjestää savukaasujen poisto. Ulkona hitsaus voidaan suorittaa yleensä ilman että tarvitaan erityisiä toimenpiteitä savun poistamiseksi, kun huolehditaan, etteivät savukaasut nouse suoraan hitsaajan hengitysvyöhykkeeseen.

Sinkityn teräksen kaarihitsausta käsitellään seikkaperäisemmin kirjallisuudessa (24, 25).

12.4 Pistehitsaus

Mustalle teräkselle soveltuvia hitsausmenetelmiä voidaan käyttää myös sinkitylle teräkselle. Yleisesti voidaan todeta, että hitsausta koskevat arvot kuten aika, virta ja puristusaine lisääntyvät verrattuna pinnoittamattomaan levyyn. Ne tulee valita niin, että sinkkikerros poistuu hitsauskohdasta. Muussa tapauksessa tulee sinkkikerrosten väliin vain juotos. Koska sinkillä on taipumus seostua kupariin, tulee myös elektrodit puhdistaa useammin kuin pinnoittamattoman materiaalin hitsauksessa.

Sopivia elektrodimateriaaleja ovat kupari-kromi tai kupari-kromi-zirkonium-yhdisteet. Hyviä tuloksia on saatu myös wolframkärkikappaleella varustetuilla kuparielektrodeilla. Puikon kärjen tulee olla katkaistun kartion muotoinen kärkikulman ollessa 120...140 °. Hyvällä jäähdytyksellä on suuri merkitys hitsauselektrodien kestoille.

Kunnolla tehdyt piste- ja saumahitsit eivät yleensä vaadi korroosionestokäsittelyä hitsauksen jälkeen.



13. Ruuviliitokset

On käytännöllistä kuumasinkitä kappaleet erikseen ja koota ne sen jälkeen yhteen ruuviliitoksin. Osien kuumasinkitys ja kuljetus pintakäsittelijältä asennuspaikalle on halvempaa kuin hitsattujen ”puolivalmisteiden”. Kun asennushitsaus ei vahingoita sinkkikerrosta, pinnoille ei tarvitse myöskään tehdä aikaa vieviä korjauksia.

Muutamia harvoja poikkeuksia lukuunottamatta laskelmissa ja asennuksessa sovelletaan samoja sääntöjä, kuin jos kyseessä olisi käsittelemätön materiaali. Kuumasinkityissä rakenteissa tulee tietenkin käyttää kuumasinkittyjä kiinnitystarvikkeita, jotta koko rakenteella olisi samanlainen korroosiosuoja. Jos ruuveille pitää saada voimakas alkukireys, vahataan kierteet ja liitospinnat niissä osissa, joita pitää vääntää asennettaessa.

13.1 Kiinnitysosat

M6-M8 ruuveissa sinkkikerroksen vähimmäisvahvuus on 25 µm (M10-M22 45 µm ja M24-M68 65 µm). Mutterin kierre ei ole sinkitty, vaan sitä suojaa ruuvin kierre.

Sellaiset ruuvit, joiden lujuusluokka on korkeintaan 8.8, ovat varastotavaraa ja 10.9:ää saa erikoistilauksesta. Lujempia ruuveja ei voida kuumasinkitä vetyhaurausvaaran raerajahalkeamien vuoksi.

13.2 Liitospinnat

Esimerkkejä sinkkipinnoitettujen pintojen kitkakertoimien ominaisarvoista:

- kuumasinkitty pinta	0,15
- kuumasinkitty ja suihkupuhdistettu pinta	0,35
- ruiskusinkitty pinta, kerros 50 µm	0,3

Kuumasinkityn pinnan tulee olla kevyesti teräsharjattu. Jos pinnat suihkupuhdistetaan, käytetään samaa tekniikkaa ja suihkupuhdistusarvoja, jotka on ilmoitettu luvussa 11, Kuumasinkityn teräksen maalaus – Duplex-menetelmä.

13.3 Reikien tekeinen

Kuumasinkittyjä ruuveja käytettäessä reikien läpimittaa suurennetaan standardin mukaisesti 0,2 mm. Jos rakenne kuumasinkitään rei'ityksen jälkeen, reiän läpimittaa suurennetaan vielä 0,4 mm.

13.4 Kierreosien alimitoitus

Ohjeellinen alimitoitus kylkihalkaisijasta mitattuna (taulukko 13-1). Tarkemmat ohjeet standardissa SFS- EN ISO 10684.

M6-M8 ruuveissa sinkkikerroksen vähimmäisvahvuus on 25 µm M10-M22 45 µm ja M24-M68 65 µm.

Kierteen nimellishalkaisija d mm	Sinkkikerroksen paikallinen vähimmäiskerrosspaksuus (= nimellispaksuus) µm	Ohjeellinen alimitoitus kylkihalkaisijasta mitattuna
6... 8	25	0,21-0,28
10... 22	45	0,30-0,36
24... 68	65	0,36-0,65

Taulukko 13-1. Kerrosspaksuudet ja alimitoitukset.

14. Kuumasinkityksen taloudellisia näkökohtia

Eri korroosiosuojaukstopojen kustannusten vertailu ei ole helppoa. On arvioitava monia tekijöitä kuten käyttöikä, pinnoituksen vaurioriskiä, käyttöympäristöä ym. Sinkkipinnoitteen käyttöikä on pitkä, ja pikkuvaurioiden riski huonontaa korroosiosuojauksta on pieni. Tämän ansiosta kuumasinkitys on aina pitkällä tähtäimellä taloudellisempi kuin muut pintakäsittelymenetelmät.

14.1 Alkukustannukset

Usein korroosiosuojauksen valinta tapahtuu yksinomaan hankintahinnan perusteella. Tällöin on vaarana valita erittäin huono korroosiosuojaus, joka tulevaisuudessa saattaa aiheuttaa suuria ylläpitokustannuksia.

Kuumasinkityksen alkukustannukset perustuvat yleensä tavaran painoon. On huomattava, että putkirakenteille tehdään kuumasinkityksessä pinnoitus sekä sisä- että ulkopuolelle, mitä ei tapahdu esim. maalauksessa. Keskimääräisen ainesvahvuuden ja pinnan suhde esitetään kuvassa 14-2 yksiköissä m^2/ton .

Kuvassa 14-3 esitetään eräs näkökulma maalauksen ja kuumasinkityksen suhteellisiin alkukustannuksiin. Useimmiten korroosiosuojaukseksi valitaan kuumasinkitys tai maalaus.

14.2 Ylläpitokustannukset

Korroosiosuojauksen ylläpito saattaa maksaa paljon, erityisesti kun se pitää tehdä paikan päällä. Mahdollisia kustannuseriä:

- Vanhan suojauksen ja ruosteen poisto
- Rakennustelineiden pystytys
- Vanhan korroosiosuojauksen käsittely- ja säilytyskustannukset
- Erityistoimenpiteet vaikeasti käsiteltäville pinnoille
- Käyttöhäiriöt ja katkoajat
- Uusi korroosiosuojaus
- Kuljetuskustannukset



Kuva 14-1. Käyttöiän kokonaiskustannukset ovat tärkeimmät korroosiosuojauksen valinnassa.

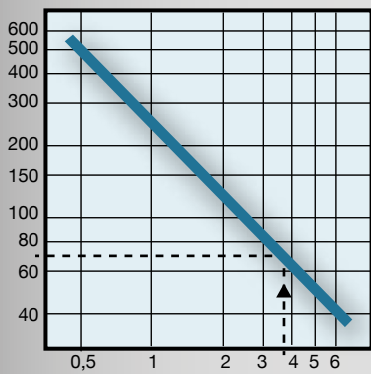
Ylläpitohuollon myöhästymisestä johtuvat seurannaisvahingot saattavat maksaa vielä enemmän. Siksi huolto kannattaa arvioida alusta asti oikein, jotta ylläpitokustannuksia voitaisiin pienentää tai ne voitaisiin kokonaan eliminoida.

14.3 Käyttöiän kustannukset

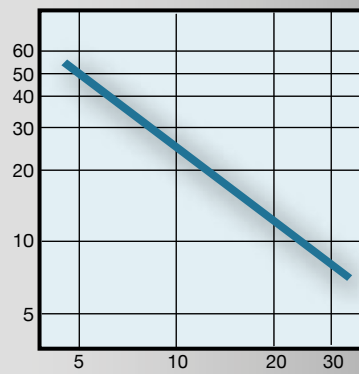
Käyttöiän kustannuksilla tarkoitetaan kaikkia rakennelman käyttöiän syntyneitä korroosiosuojauksen kustannuksia. Käyttöiän aikana pienimmät kustannukset aiheuttava korroosiosuojajärjestelmä on itsestäänselvä valinta. Käyttöiän kustannusten laskeminen saattaa olla vaikeaa ilman kattavia tietoja. Kuva 14-4 antaa hyvän käsityksen käyttöiän kustannuksista korroosiorasitusluokan C4 mukaisissa olosuhteissa BSK:n mukaan (4).

Pitkän käyttöiän ja pienet käyttöiän kustannukset yhdistävän pintakäsittelyn valinta on merkittävä ympäristöteko, koska se säästää raaka-aineita ja energiaa sekä vähentää hiilidioksidipäästöjä. Jäljellä oleva sinkki on myös helppo ottaa talteen ja käyttää uudelleen.

Pinta-ala m²/t



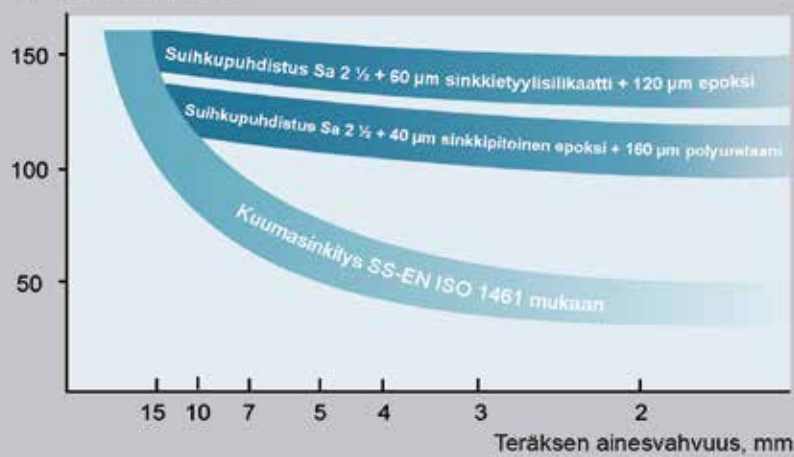
Pinta-ala m²/t



Keskimääräinen materiaalianepaksuus, mm

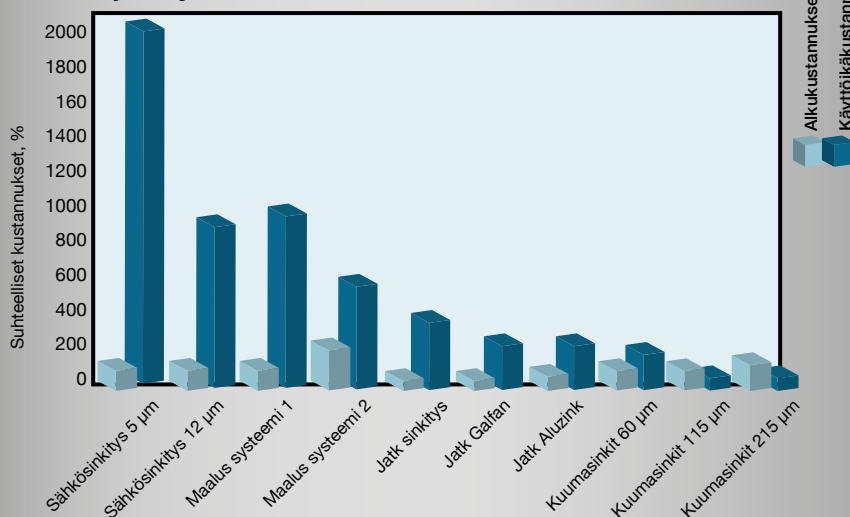
Kuva 14-2 Kuvaaja, jonka avulla voidaan kappaleen ainevahvuus (mm) muuttaa muotoon m²/tonni. H.J. Böttcherin ja J.P. Kleingarnin mukaan..n.

Suhteellinen kustannus



Kuva 14-3. Kuumasinkityksen ja maalaamisen hintasuhde eri ainesvahvuuksilla.

Alku- ja käyttöikäkustannusten vertailu



Kuva 14-4. Eri korroosiosuojamenetelmien alku- ja käyttöikäkustannusten suhteellinen vertailu. Korroosioympäristö: C4.

15. Sinkki ja ympäristö

15.1 Yleistä

Sinkki on vaalea, siniharmaa, helposti muovattava metalli, jonka tiheys on $7,14 \text{ g/cm}^3$. Se on yksi ympäristömme luonnollisista aineista ja maankuoren 24:nneksi yleisin alkuaine. Louhittavassa muodossa sinkki esiintyy pääasiassa sinkkivälkkeessä.

Kun sinkki joutuu kosketukseen kostean ilman kanssa, sen pinnalle muodostuu ohut hydroksidi- ja karbonaattikerros. Kerroksen liukoisuus veteen on vähäinen, ja se suojaa sinkkiä korroosion etenemiseltä. Ilmassa esiintyvän korkean rikkioksidipitoisuuden vaikutuksesta sinkin pinnalle syntyy sinkkisulfaattia. Sinkkisulfaatin liukoisuus veteen on korkea, minkä vuoksi se huuhtoutuu helposti pois altistaen sinkin korroosiolle. Rikkioksidin pitoisuudet ilmassa ovat kuitenkin vähentyneet merkittävästi Euroopassa viimeisen 20 vuoden aikana ja nykyään mitataan hyvin matalia arvoja, ks. kuva1-2.

Orgaanisten aineiden vaikutuksesta sinkki-ionit muodostavat yhdisteitä kuten aminohappoja, peptidejä, proteiineja ja nukleotideja. Erityisesti thiol- ja hydroksyyliyhmillä sekä typpiligandeilla on affiniteettia (vetovoimaa) sinkkiin. Sinkin merkittävä rooli kaikkien organismien välttämättömänä bioravintoaineena perustuu juuri tähän vetovoimaan. Tiedossa on 300 eri entsyymiä, joissa sinkki toimii katalyyttisessä, rakenteellisessa tai säätelevässä roolissa. Sinkkiä sisältävät proteiinit ovat muun muassa yksi tumassa tapahtuvan DNA-transkription päätekijöistä. Sinkillä on tärkeä rooli myös monissa muissa solun toiminnoissa kuten solukalvojen rakenteellisen eheyden ylläpidossa, hormoni-reseptorisidoksessa ja hermojärjestelmän signaalien siirtämisessä.

15.2 Sinkki organismeissa

Ihminen tarvitsee 12 mg sinkkiä päivässä ylläpitääkseen elintoimintojaan sekä välttääkseen sinkin puutteen.

Suomen väestö kuluttaa noin 30 tonnia sinkkiä vuodessa. Valitettavasti monet ihmiset maailmassa kärsivät sinkin puutteesta, joka aiheuttaa lapsilla ripulisairauksia, heikentynyttä kasvua ym.

Sinkkiä mm. käytetään haavavoiteissa, ihovoiteissa, vauvatalissa, lääkkeissä, aurinkoöljyissä. Sinkki on tärkeää eläinten ja ihmisten aivotoinnoille, immuunipuolustukselle ja lisääntymiskyvylle.

Kasvien sinkin puute huonontaa niiden kasvua. Tämän korjaamiseksi viljelysmaita lannoitetaan tuhansilla tonneilla sinkkiä. Eläimille, esimerkiksi porsaille, annetaan sinkkiä rehun mukana immuunipuolustuksen, haavojen paranemisen, kasvun ja ihon kunnon parantamiseksi.

Useimmissa järjestelmissä, joissa arvioidaan aineen ympäristövaarallisuutta, on keskeisenä kriteerinä aineen bioakkumulaatio, joka ilmaistaan yleensä aineen biokonsentraatitekijänä (BCF) ja määritetään kokeellisesti vedessä elävien organismien avulla. Jos BCF-arvo on yli 100, aineella katsotaan olevan niin korkea bioakkumulaatiopotentiaali, että se on ympäristölle vaarallinen. Testiorganismi, joka altistetaan matalalle sinkkipitoisuudelle vedessä, ottaa ja akkumuloi sinkkiä tyydyttääkseen sinkin tarpeen, mikä johtaa korkeampaan BCF-arvoon. Kun sama testiorganismi altistetaan korkeammalle sinkkipitoisuudelle, se ottaa vähemmän sinkkiä ja vastaavasti saadaan matalampi BCF-arvo.



Kuva 15-1. Ihminen tarvitsee 12 mg sinkkiä päivässä vastustaakseen infektioita.

Sellaisten aineiden BCF-arvo on merkityksetön, joiden saantia ja akkumulaatiota elollisiin organismeihin säätelee kehittynyt ohjausjärjestelmä. Tämä koskee elämälle välttämättömiä metalleja.

Tämä on ilmeistä, koska elämälle välttämätön sinkki voi antaa minkä BCF-arvon tahansa:

- a) 8 vuorokautta altistuneen sinisimpukan BCF-arvo vaihteli välillä 600–55 000. Kudosten sinkkipitoisuus vaihteli näistä korkeista arvoista huolimatta vain tekijällä 2.
- b) Eräällä 8 vuorokautta altistuneen simpukkalajin BCF-arvo vaihteli välillä 1100–9000. Simpukan sinkkipitoisuus vaihteli näistä korkeista arvoista huolimatta vain tekijällä 2.

15.3 Sinkin biosaatavuus

Biosaatavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka helposti organismi voi saada tiettyä ainetta, esim. ravintoainetta, metallia tai ympäristömyrkkyä. Sinkillä on kyky muodostaa moninkertaisia sidoksia niukkaliukoisiin yhdisteisiin, joilla yleisesti on huono biosaatavuus ja siten alhainen vaikutus ympäristöön.

15.4 Käyttöolosuhteet

Sinkkiä käytetään pääasiassa korroosiosuojana teräkselle metallipinnoitteen muodossa tai metallijauheena (pigmentti) maaleissa, messingissä ja muissa sinkkiseoksissa. Sinkkikemikaaleja käytetään laajalti eri käyttöalueilla kuten lääkeaineissa, voiteissa, puunsuoja-aineissa, kuivausaineissa, flotaatioreagensseissa, parkitsemisaineissa, katalysaattoreissa, elintarvikkeiden lisäaineena, eläinruokien lisäaineena, öljyn lisäaineena ym. Sinkkidioksidi on yleisin kumin valmistuksessa, ihonhoitoaineissa, haavavoiteissa jne. käytetty kemikaali.

Lähes 80 % Suomessa käytetystä sinkistä käytetään korroosiosuojaukseen. Suuri osuus tästä käytetään kylmävalssatun ohutlevyn ja rakenneseosten kuumasinkitykseen. Suomen vuosittainen sinkin tarve on 40 000 tonnia. Kaikki Suomessa käytetty sinkki valmistetaan kotimaassa.

15.5 Sinkin liukeneminen kuumasinkityistä tuotteista

Laajalle levinneen käsityksen mukaan metallien käyttö yhteiskunnassa muodostaa ongelman, koska korroosiotuote liukenee ja sillä on haitallinen vaikutus ympäristöön. Tämä käsitys koskee myös sinkkiä, joka on yleisesti käytetty metalli. Voidakseen vaikuttaa asenteisiin laadukkaalla tutkimustiedolla on sinkkiala teettänyt laajoja tutkimuksia maaperän ja vesien saastumisesta kuumasinkittyjen tuotteiden korroosion seurauksena. Tutkimuksia on suoritettu myös moottoriteiden ympäristöissä, joissa on monia sinkin lähteitä (renkaat, tien kuluminen jne.). Tutkimukset ovat osoittaneet, että sinkistä ei aiheudu mitään haitallisia vaikutuksia (28).

Tukholmassa sijaitseva KHT:n korroosio-opin laitos (Avdelningen för Korrosionslära vid Tekniska Högskolan) on tutkinut kattomateriaaleista liukenevan sinkin, kuparin ja ruostumattoman teräksen vaikutusta ympäristöön. Sateella osa muodostuneesta korroosiotuotteesta huuhtoutuu pois metallipinnoilta ja siirtyy ympäristöön sadeveden mukana. Huuhtoutuvan korroosiotuotteen määrä riippuu useista tekijöistä, esimerkiksi ilmansaasteiden pitoisuudesta, sateen kemiallisesta koostumuksesta ja pH-arvosta sekä sateen kestosta ja voimakkuudesta.

Katolta valuvassa sadevedessä esiintyvä metalli koostuu pääosin vapaista ioneista. Tutkimuksessa ilmeni, että kun metallia sisältävä vesi oli kulkenut maakerroksen läpi tai ollut kosketuksissa betonin tai kalkkikiven kanssa, yli 96 % koko metallipitoisuudesta oli hävinnyt. Suurin osa metallista sitoutui nopeasti veden ollessa kosketuksessa maaperän kanssa. Vedessä jäljellä olevalla metallilla oli matala biosaatavuus ja sitä kautta vähäinen vaikutus ympäristöön.

15.6 Valmistus ja energiankulutus

Sinkkiä valmistetaan malmista, joka murskauksen, rikastuksen ja pasutuksen jälkeen liuotetaan elektrolyyttiin. Sinkki erotetaan elektrolyyttikylvystä sähkövirran avulla, minkä jälkeen sinkkimetalli sulatetaan ja valetaan harkoiksi toimitettavaksi käyttäjille. Kuumasinkityksessä käytettävän sinkin puhtaus on 99,995 % Zn. Jäljelle jäävä 0,005 % on lähinnä rautaa.

Laskelmien mukaan kaikista perusmetalleista rautaa lukuun ottamatta sinkki vaatii vähiten energiaa lasketuna sekä paino- että tilavuusyksikköä kohti. Energiankäyttö valmistettua sinkkitonnia kohti on 12-13 GJ/tonni sinkkiä. Uuden sinkin valmistaminen kierrätetystä sinkistä vaatii ainoastaan 5 % tästä energiamäärästä. Sinkki kuluttaa siis vähän luonnonvaroja verrattuna muihin perusmetalleihin.

15.7 Kierrätys

Kuumasinkityksestä syntyy jonkin verran prosessijätettä, joka kierrätetään uudelleen käytettäväksi.

Maailmassa käytetyn sinkin kokonaismäärästä noin 35 % on nykyään peräisin kierrätyspinkistä. Sinkin kiertoaika on 30 - 40 vuotta, ja lähes 80 % sinkistä käytetään uudelleen. Kierrätykseen päättymätön osa koostuu käytetyistä sinkkikemikaaleista ja korroosion syövyttämästä sinkistä. Tämä koskee sekä sinkkipigmenttiä että metallipinnoitteita.

Sinkki voidaan kierrättää loputtomasti. Tämä tarkoittaa, että sillä on itsestään selvä paikka ekologisesti kestävässä yhteiskunnassa. Vuosikymmeniä kestävä teräksen korroosiosuojaus vähentää rautamalmin ja energian kulutusta, kuljetuksia ja hiilidioksidipäästöjä.



Kuva 15-2 Lähes 80 % sinkistä kierrätetään.

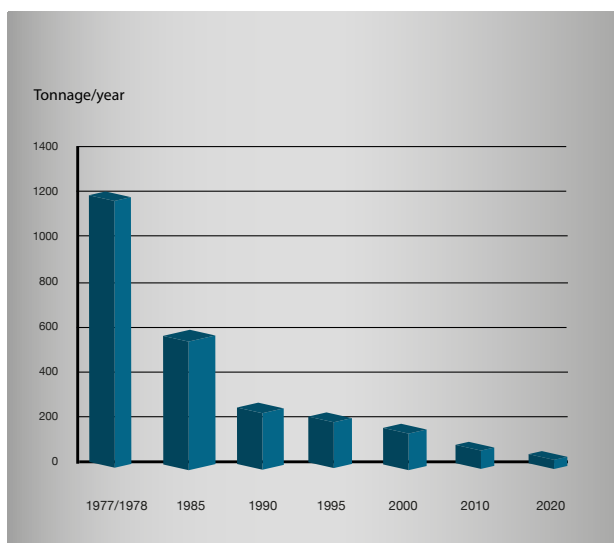
15.8 Sinkkipäästöt

a) Pistemäiset lähteet

Päästöjä on kahdenlaisia: päästöt ilmaan ja veteen. Suomessa suurin osa päästöistä veteen tulee pistemäisistä lähteistä, etupäässä kaivosjätteestä ja meteoriittisuudesta. Suurin osa päästöistä ilmaan tulee romua käyttävistä teräsvalimoista, sekä puu- ja turvelämmityksestä.

Pintakäsittelylaitoksilla on nykyään hyvin tehokkaat puhdistuslaitteet ja sen vuosittaiset sinkkipäästöt (v. 2002) ovat vain 2 tonnia. Suurehkon kuumasinkitys-laitoksen päästöt ovat nykyään n. 20–25 kg per vuosi, mikä on neljä kertaa pienempi kuin asetettu raja-arvo.

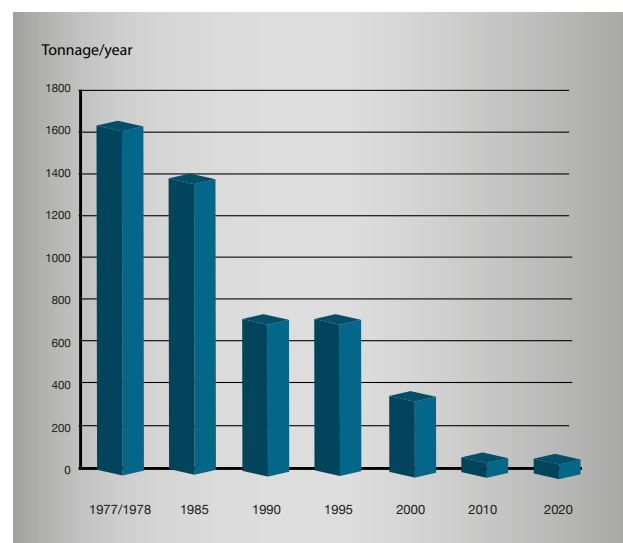
Kuvat 15-3 ja 15-4 osoittavat kuinka sinkkipäästöt ilmaan ja veteen ovat pienentyneet viimeisten vuosikymmenten aikana.



Kuva 15-3. Sinkkipäästöt ilmaan vuosina 1977 - 2020. (30)

b) Sekalaiset päästöt

Sekalaiset päästöt syntyvät etupäässä korroosiosta, liikenteen kulutuksesta (renkaat, asfaltti, jarrupalat) ja kotitalousjätteestä. Osa tulee myös ilmakehän kautta tulevasta laskeumasta, joka on peräisin muiden maiden päästöistä. Trendi on laskeva ja viimeisten 10 vuoden aikana sekalaiset päästöt ovat vähentyneet 40 %. Suuri tähän vaikuttava tekijä on, että ilman rikkidioksidipitoisuus on laskenut merkittävästi koko Euroopassa.



Kuva 15-4. Sinkkipäästöt veteen vuosina 1977 - 2020. (30)

16. Ympäristötuoteseloste

16.1 Toimialan ympäristötyö

Suurin osa Pohjoismaiden kuumasinkitsijöistä kuuluu Nordic Galvanizers -toimialayhdistykseen. Nordic Galvanizersin tiedotustoimisto on johtava toimija kuumasinkityksen ja sinkkiin liittyvien ympäristöasioiden kehittämisessä.

Toimialayhdistyksen jäsenet harjoittavat toimintaansa ympäristölainsäädännön mukaisesti ja niillä on huolellisesti laaditut:

- Ympäristöpolitiikka
- Ympäristöselvitys
- Kemikaalivalvonta
- Sisäisen ja ulkoisen ympäristön valvonta

16.2 Tuote

Osien ja rakenteiden kuumasinkityksessä kappaleet upotetaan sulaan sinkkiin joko n. 455 °C:n matalalämpötilassa tai n. 550 °C:n korkealämpötilassa, jolloin sinkin ja raudan välille syntyy seos. Matalalämpötilassa syntyvän seoksen paksuus riippuu ennen kaikkea teräksen piipitoisuudesta ja upotusajasta. Seoskerroksen paksuudeksi tulee normaalisti 70–125 µm, mutta paksumpiakin kerroksia on mahdollista tehdä. Ohuet kerrokset ovat yleensä väriltään kirkkaita, kun taas paksummista tulee mattaharmaita.

Kuumasinkitystä käytetään teräksen suojaamiseen korroosiolta (ruosteelta). Edellä mainitun kerroksen antama korroosiosuoja kestää ulkotiloissa useimmiten yli 50 vuotta. Useimmat tuotteet kuumasinkitään silloin, kun halutaan saada luotettava ja pitkäikäinen korroosiosuoja edullisin kustannuksin. Kuumasinkittyjen tuotteiden käyttöikä on yli 50 vuotta ilman ylläpitokäsittelyä, joten niiden käyttöiän kokonaiskustannukset ovat hyvin alhaiset.

Kuumasinkitty pinta voidaan käsittelyn jälkeen maalata (duplex), jolloin sen korroosiosuoja kestää pidempään, koska sinkki ja maali suojaavat toisiaan.

Toisin kuin pelkkä maalaus, kuumasinkitys antaa teräkselle myös katodisen suojan, mikä tarkoittaa sitä, että naarmut ja vauriot sinkkikerroksessa eivät ruostu.



Kuva 16-1. Kuumasinkitty roska-astia.

16.2.1 Tuotteen sisältö

Pohjoismaissa kuumasinkitykseen käytetään SHG sinkkiä (Special High Grade), joka sisältää vähintään 99,995 % sinkkiä. Sisällöstä on rautaa n. 0,003 %, lyijyä < 0,002 % ja kadmiumia < 0,0004 %. Sinkki otetaan 1 tai 2 tonnin harkkoina ja nostetaan sinkkikylpyyn, jossa se sulaa 420 °C lämpötilassa.

Sinkin lisäksi kylpyyn lisätään joitakin prosentin tuhannesosia alumiinia. Aiemmin lisättiin myös lyijyä, mutta se on nykyään ympäristösyistä korvattu muilla metalleilla.

Kuumasinkityksen yhteydessä syntyy kovasinkkiä, joka on raudan ja sinkin yhdiste, jossa on n. 95 % sinkkiä sekä tuhkaa, joka sisältää n. 70 % sinkkiä. Kuumasinkityksen tuotteesta kierrätetään sinkki talteen. Lisäksi syntyy käytetty peittäuskylpy eli hydroksidisakka, josta otetaan talteen rauta ja sinkki. Kuumasinkityslaitokset ovat kokonaisuutena suljettuja prosesseja, ja eri jäämätuotteet kierrätetään.

16.3 Pakkaus ja kuljetus

Kuumasinkityt tuotteet pakataan ja kuljetetaan nipuis-
sa tai lavalle pakattuina. Tasaisia pintoja ei saa pakata
kiinni toisiinsa, koska kapeisiin rakoihin kertyvä sade ja
kondenssivesi voivat aiheuttaa tuotteiden pinnalle val-
koruostetta (sinkin korroosiotuote).

Sinkkipinnoite kestää kuljetusta paremmin kuin esim.
maalaus. Kuljetuksissa kannattaa käyttää katettua au-
toa, jotta tuotteet eivät altistu esim. maantiesuolalle.

16.4 Materiaalin talteenotto ja energian tarve

Kuumasinkityt tuotteet voidaan kierrättää tai sinkitä
uudelleen, koska teräs on täysin vahingoittumaton
käyttöajan päätyttyä. Sinkki voidaan ottaa talteen
kuumasinkitystä materiaalista sinkkioksidina terässula-
ton suodattimessa.

Sinkkiä on helppo kierrättää, ja nykyään uuden sinkin
valmistuksessa käytetystä sinkistä 35 % on kierrä-
tettyä, mikä on lähes 80 % tarjolla olevasta sinkistä.
Suurin osa kierrätysinkistä tulee kuonista ja sinkitystä
teräksestä.

Sinkin valmistukseen kuluu noin 13 GJ energiaa per
tonni sinkkiä. Uusiovalmistuksessa vastaava luku on
0,65 GJ, mikä tarkoittaa sitä, että sinkin valmistamiseen
kuluu vähän energiaa verrattuna muihin metalleihin.
Tämä tarkoittaa myös sitä, että valmistuksen ympäristö-
vaikutus on pienempi kuin muilla metalleilla.

16.5 Valmistus

Kuumasinkitystä tehdään noin 75 laitoksessa Poh-
joismaissa. Laitosten koko vaihtelee. Useimmat ovat
laatu- ja ympäristösertifioituja. Kuumasinkitys tehdään
usein manuaalisesti kappaleiden vaihtelevan koon ja
määrän vuoksi. Suuremmille ja kooltaan yhdenmu-
kaisemmille sarjoille on olemassa myös automaattisia
laitoksia.

16.5.1 Päästöt ilmaan

Hiukkaset, jotka syntyvät, kun esine upotetaan sinkki-
kylpyyn, kerätään suodattimeen. Hiukkaset käytetään
juoksuteaineen kierrätyksessä. Hiilidioksidia tai typen
oksideja sisältäviä savukaasuja ei synny. Suljettujen
kuumasinkityslaitosten päästöt ovat siis äärimmäisen
vähäiset.

16.5.2 Päästöt veteen

Kuumasinkitysprosessiin kuuluvien esikäsittelyvaihei-
den välillä ei yleensä käytetä lainkaan huuhteluvettä.
Automaattisissa laitoksissa vesihuuhtelua saattaa
esiintyä. Tällöin vesi puhdistetaan ja käytetään uudel-
leen Jos kappaleita jäähdytetään vedellä sinkityksen
jälkeen, jäähdytysvesi puhdistetaan.

16.5.3 Energiankäyttö

Kuumasinkityksessä kuluu yhdessä vuorossa 600–650
KWh energiaa terästonnin kohti ja kolmessa vuoros-
sa 350 KWh. Energiataloudella on korkea prioriteetti.

Sinkki- ja jäähdytyskylvyistä talteen otettua lämpöä
käytetään mm. tilojen lämmitykseen. Useimmat pro-
sessikylvyt tapahtuvat huoneenlämmössä.

16.5.4 Melu ja terveys

Laitosten melutaso on pääsääntöisesti alhainen eikä
vaikuta ympäristöön.

Kuumasinkitystä on käytetty lähes 200 vuotta. Tänä ai-
kana siitä ei ole tullut esiin kielteisiä terveysvaikutuksia,
vaan pikemminkin on huomattu myönteisiä vaikutuk-
sia.

16.6 Ympäristöprofiili

Ympäristöprofiili tarkoittaa kuumasinkitysprosessin
keskiarvoja (paikallisia eroja saattaa esiintyä)

Sinkki	60–70 kg per tonni
Sähkö, päiväaika	600–650 KWh per tonni
Sähkö, kolmivuoro	350 KWh per tonni
Hiilidioksidi	0 kg per tonni
Typidioksidi	0 kg per tonni
Suolahappo	15 kg per tonni
Juoksuteaine	2–3 kg per tonni
Vesi	Pieniä määriä, jotka puhdistetaan

Jäämätuotteet:

Kovasinkki	10 kg per tonni
Tuhka	15 kg per tonni
Suodatinpöly	0,3 kg per tonni
Hydroksidisakka (kuivattu)	5 kg per tonni

16.6.1 Ympäristöohjaus

Kuumasinkitysajat ovat jo vuosien ajan tehneet aktiivista
ympäristötyötä. Työ kattaa energia- ja raaka-ainetalou-
den, päästöjen ennaltaehkäisyn sekä jäämätuotteiden
huolehtimisen kierrätykseen. Prosessia kehitetään ym-
päristö ja ihmiset huomioiden.

Jokaisessa laitoksessa on ympäristövastuuhenkilö.
Prosessikylpyjen ja prosessikemikaalien käsittelyssä
noudatetaan vakiintuneita rutiineja. Laitosten eri pro-
sessit dokumentoidaan säännöllisesti ja ympäristöra-
portti tehdään vuosittain.

16.7 Sinkki ja ympäristö

Sinkki on elintärkeä metalli, joka pieninä määrinä on
korvaamattoman tärkeä useimmille organismeille. Ih-
minen tarvitsee n. 12 mg päivässä, mikä tarkoittaa,
että Suomen väestö kuluttaa lähes 30 tonnia sinkkiä
vuodessa. Koko maailman väestön kuluttaa siis
30 000 tonnia sinkkiä vuodessa.

Yhdyskuntapäästöt veteen ja ilmaan ovat vähentyneet
10:een osaan viimeisten 20 vuoden aikana. Pintakä-
sittelylaitosten sinkkipäästöt vesiin ja ilmaan ovat ny-
kyään niin alhaiset (2–3 tonnia vuodessa), että päästö-

jen vähentäminen taloudellisesti on hankalaa.

Sinkkilaskeuman mittaustulokset (sinkkipitoisuus samalla tavalla) ovat tällä hetkellä 40–50 mg/kg, mikä on matalampi kuin luonnon tausta-arvo, joka on keskimäärin 70 mg/kg kuivassa maassa.

Kaikki mittaukset ja seurannat osoittavat sinkin vähenyneen ympäristöstä voimakkaasti, ja monilla alueilla onkin nykyään pula sinkistä. Tämän korjaamiseksi pelloille levitetään vuosittain n. 1000 tonnia sinkkiä.

16.8 Ympäristötuoteseloste

Eurooppalainen kuumasinkitysjärjestö EGGA (European General Galvanizers Organization), jonka jäsen Nordic Galvanizers on, on laatinut ympäristötuoteselosteen kuumasinkitylle teräkselle.

Ympäristötuoteseloste kertoo tuotteen ympäristöominaisuuksista ja soveltuu kaikenlaisille tuotteille ja palveluille. ISO 14025:n mukainen ympäristötuoteseloste perustuu elinkaarianalysiin.

Ympäristötuoteseloste on hyvä tapa tarjota tuotteen käyttäjien ja viranomaisten vaatimaa olennaista ympäristötietoa. Taustalla oleva elinkaarianalyysi on lisäksi erinomainen perusta tuotteen ympäristöominaisuuksien jatkuvalla parantamiselle. Talojen ja infrastruktuurin rakentamiseen kuluu suuri osa maailman resursseista, minkä vuoksi ympäristöasioiden merkitys projektien suunnittelussa ja hoitamisessa on kasvanut. Eri rakennusmateriaaleilla on erilainen ympäristökuormitus kiloa kohti – mutta niillä on myös täysin erilaiset ominaisuudet. Kaikenlaiseen rakentamiseen liittyvän ympäristönsuojelun tason arvioinnin uudet standardit ovat siksi välttämättömiä, jotta työ kestävässä rakentamisen puolesta on järjestelmällistä.

Elinkaari-informaation (LCI) tieto on tehokas työkalu, kun halutaan tarkastella yksityiskohtaisesti tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia koko niiden elinkaaren ajalta. LCI-tiedot voivat kuitenkin tuotteen käyttäjien näkökulmasta olla vaikeasti tulkittavia, minkä vuoksi tuotteen ympäristönsuojelun tason esittely ympäristötuoteselosteen (EPD) avulla yleistyy.

Kuinka voidaan mitata ja arvioida, onko materiaali tai tuote ympäristön kannalta kestävä? Euroopan kuumasinkitsijät ja sinkintoimittajat käynnistivät vuonna 2004 suuren yhteisen projektin tämän alan tietoisuuden lisäämiseksi. Projektin tarkoituksena on tarkastella ympäristön kannalta, miten kuumasinkitysprosessi ja kuumasinkitty teräs pärjää muihin markkinoilla oleviin rakennusmateriaaleihin ja pintakäsittelyihin verrattuna. Koottua tietokantaa on päivitetty useaan kertaan, ja tiedot on kerätty yli 1 000 tonnista terästä, joka on kuumasinkitty 66:ssa eri laitoksessa 14:ssä Euroopan maassa. Tulos edustaa tyypillisen kappaleittain kuumasinkityn tuotteen keskiarvoa. Yleensä ympäristö-

tuoteseloste tehdään jollekin tietylle tuotteelle.

Tässä tapauksessa on kuitenkin tehty yleinen ympäristötuoteseloste määritetyn kokoiselle kuumasinkitylle teräslevylle. Ympäristötuoteseloste on ladattavissa osoitteessa www.nordicgalvanizers.com.



Kuva 16-2. Ympäristötuoteseloste perustuu tietoihin, jotka on kerätty suurelta joukolta eurooppalaisia kuumasinkityslaitoksia. Ympäristöseloste edustaa tyypillisen kappale kuumasinkityn tuotteen keskiarvoa.

17. Kirjallisuus

1. Wranglén, G: Metallers 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 korrosionsskydd - läromedels-serie, Korrosionsinstitutet, Stockholm 1977.
4. ISO 12944-2:2017, Färg och lack - Korrosionsskydd av stålkon-struktioner 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 höhe-rer Festigkeit beim Feuerverzinken. Arch Eisenhüttenw. 46 (1975):2, 137-141.
13. Hirn, A: Användande av förzinkade detaljer vid förhöjd tempera-tur, 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 zinksikt för korrosions-kydd 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. Varmförzinkningstek-niska konf. 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 karbonati-serad 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 Förzink-ningsförening. Stockholm 1974.
26. Landner, L & Lindeström, L: Zink – resurs och/eller hot? En faktaredovisning. Miljöforskargruppen, Stockholm och Fryksta 1996.
27. Landner, L & Reuther, R: Metals in Society and in the Environ-ment, 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., Div. for Surface and Cor-rosion Science, www.corrosionscience.se, Tekniska Högskolan Stockholm.
30. Hansson K et al, IVL Swedish Environmental Research Insti-tute, 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.





Kuumasinkitys – pitkäikäinen ja huoltovapaa korroosiosuojaus

Kuumasinkitys antaa teräkselle pitkäikäisen ja huoltovapaan korroosiosuojauksen useimmissa käyttöolosuhteissa.

Tämä käsikirja sisältää tietoa teräksen käyttäytymisestä kuumasinkityksessä, neuvoja kuumasinkittävän teräsrakenteen suunnitteluun sekä tietoa sinkityksen ympäristönäkökohdista heille, jotka haluavat suojata teräsrakenteensa korroosiolta.

Nordic Galvanizers on Pohjoismaiden kuumasinkitysyriyten toimialayhdistys. Ota yhteyttä kuumasinkitykseen ja sinkittyjen terästen käyttöön liittyvissä kysymyksissä.

Lisätietoja ja uutisia kuumasinkityksestä löytyy kotisivuiltamme www.nordicgalvanizers.com.

nordic
GALVANIZERS 

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