

Köpa Ytbehandling

Handledning för konstruktion med ytbehandling

Vid konstruktion av en detalj finns många parametrar att ta hänsyn till.

Valet av material som skall användas för tillverkning av detaljen görs ofta med utgångspunkt från de bulkegenskaper som konstruktionen kräver.

Kraven på produkten beträffande ytans egenskaper kan även de erhållas genom val av konstruktionsmaterial. Många gånger kan dock dessa med fördel tillgodoses genom val av lämplig ytbehandling. För optimala egenskaper är det viktigt att hänsyn tas till ytbehandlingen redan från början i konstruktionsarbetet.

Materialvalet - Bulkegenskaper

görs vanligen primärt baserat på kraven på bulkegenskaperna

- ✚ Hållfasthet
- ✚ Bearbetbarhet
- ✚ Vikt
- ✚ Ledningsförmåga, termisk eller elektrisk
- ✚ Härdbarhet
- ✚ Materialkostnad
- ✚ etc.

Ytbehandlingsvalet – Ytegenskaper

som ofta kan tillgodoses genom rätt ytbehandling

- ✚ Dekorativa skikt
- ✚ Korrosionsskydd
- ✚ Ythårdhet
- ✚ Nötningsskydd
- ✚ Friktionskoefficient
- ✚ Elektrisk överföring – Kontaktegenskaper
- ✚ Hygieniska egenskaper – Rengöring

Konstruktiv utformning för våtkemisk ytbehandling


Underlag för köp av ytbehandling

Miljöaspekter

Elektrolytiska och kemiska beläggningar

Flertalet konstruktioner kräver någon form av ytbehandling för att detaljerna skall få tillräckligt skydd mot korrosion, slitage, önskvärt utseende, eller i övrigt lämpliga ytegenskaper. Valet av kombination av grundmaterial och ytbehandling bör göras så tidigt som möjligt. Man har då bättre möjlighet att välja ett material, tillverkningsmetod och **konstruktiv utformning** som passar för att utföra den valda beläggningen på och kan få optimala prestanda i förhållande till produktionskostnaden.

Inom SYF's medlemsföretag finns produktionsresurser för att utföra följande beläggningar:

- | | | |
|--|---|---|
| <p>✚ Anodisering
Dekorativ, korrosions- och nötnings-skyddande beläggning på aluminium.</p> | <p>✚ Förkromning – Nickel/Krom
Dekorativ korrosions- och nötnings-skyddande beläggning.</p> | <p>✚ Hårdförkromning
Hård, nötnings- och korrosionsbeständig beläggning som ger låg friktion och skydd mot skärning.</p> |
| <p>✚ Betning av rostfritt
Rengöring efter svetsning, värmebehandling eller blästring.</p> | <p>✚ Förnickling
Korrosionsskyddande och dekorativ beläggning.</p> | <p>✚ Kemisk förnickling
Hård, nötnings- och korrosionsbeständig beläggning som ger skydd mot skärning.</p> |
| <p>✚ Elpolering
Ger glans och förbättrade korrosionsegenskaper hos rostfritt stål.</p> | <p>✚ Försilvring
Dekorativ beläggning.
För att få låg elektrisk resistans i ytan.</p> | <p>✚ Mässingbeläggning
Dekorativ beläggning som kan patineras.
Ger extremt god vidhäftning för gummi som vulkas på ytan.</p> |
| <p>✚ Flakes
Korrosionsskyddande och dekorativ beläggning med zink/aluminium-flakes i organiskt bindemedel.</p> | <p>✚ Förtening
För konduktiv och lödbar yta
Korrosionsskyddande och hygienisk.</p> | <p>✚ Passivering av lättmetaller (Al, Mg)
Som underlag för organisk beläggning, förstärkning av korrosionsskydd samt lägre kontaktresistans.</p> |
| <p>✚ Fosfatering
Som underlag för lack, olja, fett etc. för korrosionsskydd eller friktionskontroll på stål, zink och aluminium.</p> | <p>✚ Förzinkning
Korrosionsskyddande och dekorativa beläggningar.</p> | <p>✚ Svartoxidering
Dekorativa skikt som i kombination med vax, fett eller olja ger förstärkning av korrosionsskydd och lägre friktion.</p> |
| <p>✚ Förgyllning
Dekorativ beläggning samt för att erhålla låg kontaktresistans i kontakter.</p> | <p>✚ Zinklegeringar (ZnNi eller ZnFe)
Korrosionsskyddande och dekorativa.
Fördröjd start av vitblemma, kan ge bättre korrosionsskydd än förzinkning.</p> | <p>✚ Ytbehandling av plast
Dekorativa skikt som ger skydd mot repor och andra skador.</p> |
| <p>✚ Förkoppling
Underlag för andra metallbeläggningar för att förbättra glans och prestanda och möjliggöra beläggning på pressgjuten zink.</p> | <p>✚ Hårdanodisering
Hård, nötnings- och korrosionsbeständig beläggning på form- och gjutgods av aluminium.</p> | <p>✚ </p> |

Konstruktionsmaterial

Valet av material vid konstruktion av en detalj görs primärt ofta baserat på den aktuella detaljens behov beträffande hållfasthet, vikt och andra bulkegenskaper samt vilken tillverkningsmetod som är lämpligast och ger bäst produktionsekonomi. Det är dock mycket viktigt att välja ett material för produkten som även är lämpligt för aktuell ytbehandling. De flesta material kan ytbehandlas med de flesta metoder med hjälp av anpassad förbehandling, samt för vissa fall på mellanskikt. För att få rimliga kostnader, bra prestanda hos beläggningen och låg risk för fel och problem i efterhand är det dock ytterst lämpligt att beakta de problem som föreligger för vissa material.

Stålmaterial

- + Låglegerade och finkorniga material är de som vanligen lämpar sig bäst för ytbehandling
- + På automatstål, med t.ex. högre svavel och manganhalter, kan utskiljningar av de skärbefrämjande tillsatserna på ytan av materialet orsaka porer och även i vissa fall ge vidhäftningsproblem.
- + Stål med högre kolhalt innehåller vanligen karbidutskiljningar (särskilt i kombination med krom och wolfram) som kan orsaka porer i skiktet och om godset är härdat kan särskild förbehandling krävas för att få bra vidhäftning.
- + Höghållfasta och härdade material (hårdhet över 30 HRC, eller $>1\ 000\ \text{N/mm}^2$) är känsliga för väteförspredning, särskilt vid behandling i processer med dåligt strömutbyte såsom hårdförkromning och alkalisk förzinkning.
- + Inneslutningar som åstadkommit vid en pressoperation, ger upphov till motsvarande inhomogent ytbehandlingsresultat.
- + Varmvalsad stålplåt är svår att slipa och ger ett dåligt underlag för dekorativ ytbehandling på grund av valshud och oxidinneslutningar.
- + Material som magnetiserats, t.ex. genom en tidigare bearbetning eller hantering med hjälp av magneter, drar till sig magnetiska partiklar i förbehandlingsbad och resultatet blir fel i ytbehandlingen (måste avmagnetiseras innan ytbehandling).
- + Material med kraftiga ytföroreningar, såsom rost, svetslagg eller rester från härdoperationer, måste ges en kraftigare förbehandling, vilket kan resultera i sämre ytfinish.

Gjutjärn

- + Gjut- och aducergods, särskilt med hög fosforhalt, får ofta dålig täckning när de behandlas i alkaliska processer.
- + Gjutjärn där kolet förekommer som grafit ger ofta upphov till porer, särskilt på bearbetade ytor. Grafit, som är elektriskt ledande, uppträder "ädlare" än t.ex. koppar vilket kan orsaka galvanisk korrosion på angränsande metaller.

Pulverpressade material

- + Grovkorniga material ger ofta upphov till ojämn betning, avfrätning längs korngränserna etc. Resultatet kan bli en ojämn yta eller porer i skiktet.
- + Pulverpressat och sintrat material är ofta svårt att ytbehandla med bra resultat, särskilt om inte porositeten är mycket låg. Badvätskor som absorberas i materialet kan orsaka blåsor, dålig vidhäftning, porer och missfärgningar.

Aluminium

- ✚ Vid anodisering erhålls bäst resultat på legeringar med lågt legeringsinnehåll och låga föroreningshalter av främst koppar och järn
- ✚ Kräver för metallbeläggning särskild förbehandling och ofta mellanskikt för att ge god vidhäftning.
- ✚ Kisel- och kopparhaltiga aluminiumlegeringar är svåra att anodisera med gott resultat, i vissa fall kan det vara omöjligt.
- ✚ Aluminiumgjutgods kan inuti uppvisa en hög porositet som exponeras i bearbetade ytor och kan ge upphov till porer, missfärgningar och blåsbildning.
- ✚ Anodisering av aluminiumgjutgods ger oftast sämre skiktegenskaper och lägre skiktjocklekar än på plastiskt formade aluminiumlegeringar.

Zinkgjutgods

- ✚ Zink kräver särskild förbehandling och ofta mellanskikt för att ge god vidhäftning.
- ✚ Zinkgjutgods kan inuti uppvisa en mycket hög porositet.
 - ⇒ Dessa exponeras i bearbetade ytor och kan ge upphov till porer och blåsbildning.
 - ⇒ Kan göra det svårt eller omöjligt att ytbehandla efter kraftig slipning.

Nickel- och koboltbaslegeringar

- ✚ Går att ytbehandla men kräver speciell betning och andra förbehandlingsprocesser.

Övriga metaller

- ✚ Magnesium, bly, beryllium och legeringar av dessa kräver särskild förbehandling och ofta mellanskikt för att ge god vidhäftning och inte förstöras vid metallbeläggning.

Konstruktionsplaster

- ✚ Går att metallbelägga men kräver speciell etsning och andra förbehandlingsprocesser med metalliska mellanskikt. Bäst lämpade är ABS-plaster men processer för andra typer av plaster förekommer även.

I praktiken är det så, att varje material måste provas i den kompletta process som skall användas. Därför är det viktigt att varje materialförändring uppmärksammas, även om det gäller små förändringar eller bara leverantörsbyte.

Användning av flera olika material som sätts samman före ytbehandling bör om möjligt undvikas, eftersom olika behandling av materialen kan krävas. Montering efter ytbehandling ger bättre resultat.

Att omytbehandla en detalj är ofta möjligt men ger vanligen försämring i finish om ytan inte återställs genom slipning, polering eller liknande före beläggning med det nya skiktet.

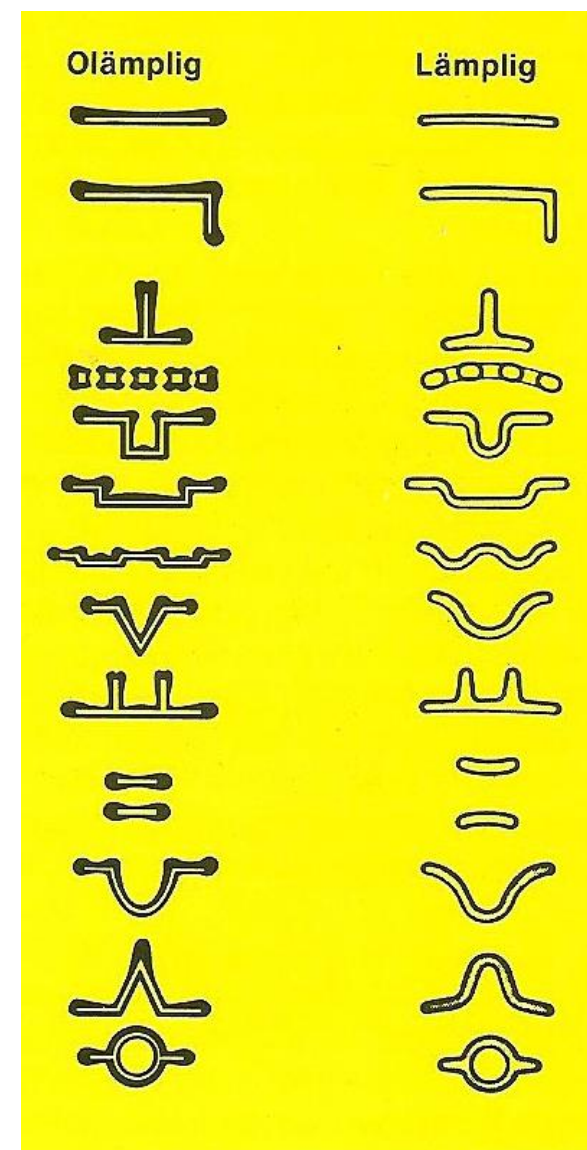


Konstruktion med hänsyn till ytbehandling

För att en konstruktion med ytbehandling skall kunna utnyttja de maximala prestanda hos den aktuella ytbehandlingen och bli så kostnadseffektiv som möjligt är det av yttersta vikt att hänsyn tas till denna redan från början i konstruktionsarbetet. Det finns ett antal förutsättningar som alla konstruktörer måste tänka på för att ett förväntat resultat skall erhållas på ytbehandlingen.

Skiktjockleken blir inte lika överallt.

- ✚ Utstickande partier får i elektrolytiska processer högre skiktjocklek. De partier som inte är lättåtkomliga för strömmen, eller en fritt strömmande elektrolyt, får tunnare skikt eller ingen beläggning alls. Hur stor effekten är varierar mellan olika processer.
- ✚ För att få jämn skiktjocklek bör således runda former användas. Skarpa hörn (inåt- eller utåtgående) och trånga spalter bör undvikas. Konkava ytor är att föredra framför konkava.
- ✚ I rör och hålprofiler erhålls ingen eller väsentligt tunnare ytbeläggning i elektrolytiska processer. Beroende på egenskaperna hos resp. process varierar längden i inslag på insidan av detaljen kraftigt.
- ✚ Invändigt i hål (i synnerhet i tjockare gods) kan vanligen inte full skiktjocklek upprätthållas. Genomgående hål är att föredra då strömflöde och vätsketransport därmed underlättas. Olika processer har varierande förmåga att ge inslag i hål (s.k. makrospridning).
- ✚ Undvik konstruktioner med trånga spalter! Av samma orsak som i hål blir skiktets tjocklek där kraftigt reducerad eller saknas helt. Sammanlagda plåtar, överlappsfogar, bör undvikas. Förutom att skikt mellan ytorna kommer att saknas kan spalten genom kapillärverkan hålla kvar processlösningar som senare kan orsaka frätskador. Att göra en spalt helt tät har ofta visat sig vara mycket svårt.
- ✚ För att få jämnare skiktjockleksfördelning och överhuvud taget täckning på svåråtkomliga ytor kan speciella arrangemang, såsom hjälpanoder, strömtjuvar eller deflektorer användas vid hängning för ytbehandling. Det kräver dock en hel del arbetstid och används i första hand vid dyrbarare ytbehandling med dålig spridningsförmåga, framför allt vid hårdförkromning eller silverbeläggning.



Ytbehandling av hänggods kräver upphängningspunkter

- ✚ Detaljerna måste kunna hängas upp i hål eller spännas fast på något sätt så att de kan orienteras på lämpligt sätt med avseende på punkten ovan. Märken efter kontaktpunkter, som oftast även ej får beläggning, måste kunna accepteras.

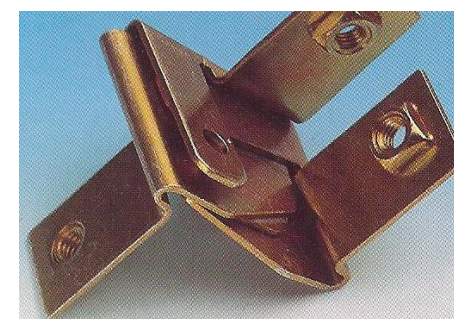
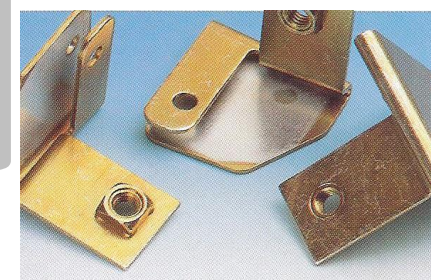
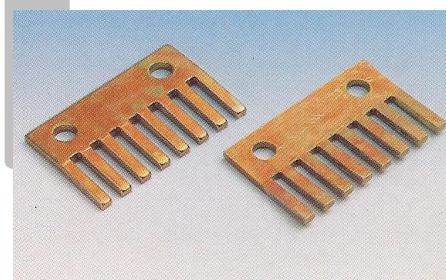
Vätska måste kunna komma in och rinna ur, luft släppas ut uppåt

- ✚ Detaljerna måste kunna dräneras och inga luftfickor får uppkomma. Om möjligt skall detaljen förses med hål för dränering av vätska och evakuering av gas. Luftfickor uppkommer i utrymmen utan passage uppåt och omöjliggör rengöring och ytbehandling i vätskebad på dessa ytor. Om detaljen inte kan dräneras kommer badvätska att överföras mellan olika processbad, vilket snabbt förstör efterföljande skölj- och processbad samt kan skada produkten. Dräneringshålen bör även vara så stora att uppsamlad vätska rinner ut inom loppet av några sekunder för att uppehållstiden mellan de olika processtegen inte måste förlängas. Utrymmen svåra att dränera är också spalter och sprickor där vätska hålls kvar av kapillärkraften. Kvarhållna korrosiva elektrolyter kan medföra risk för korrosionsskador i efterhand på detaljen.
- ✚ Strömlös ytbehandling, som t.ex. kemisk förnickling, eller anodisering ger i det närmaste helt jämntjocka skikt under förutsättning att punkten ovan kan beaktas.

Ytbehandling av massgods i trumma

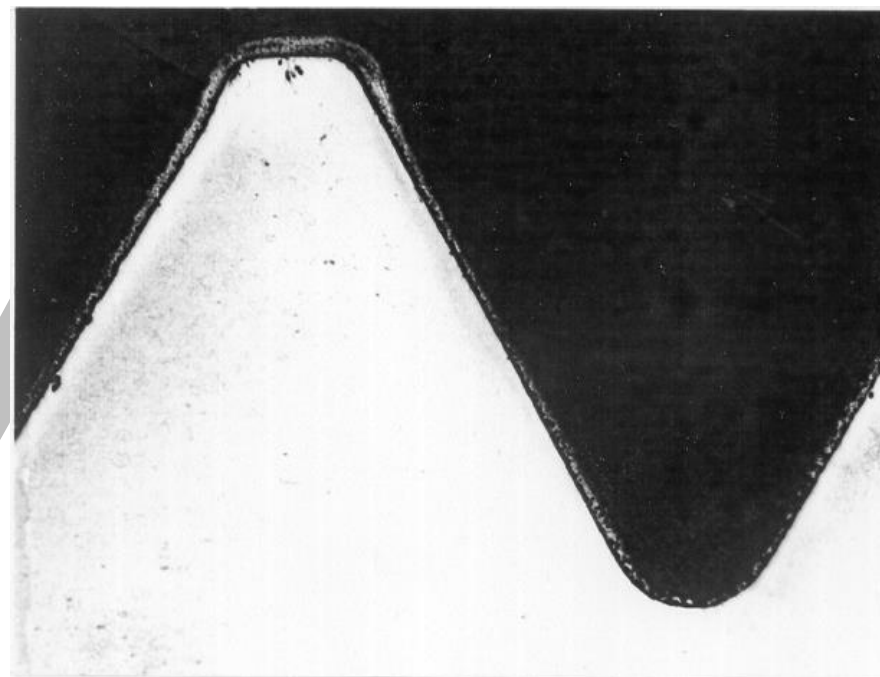
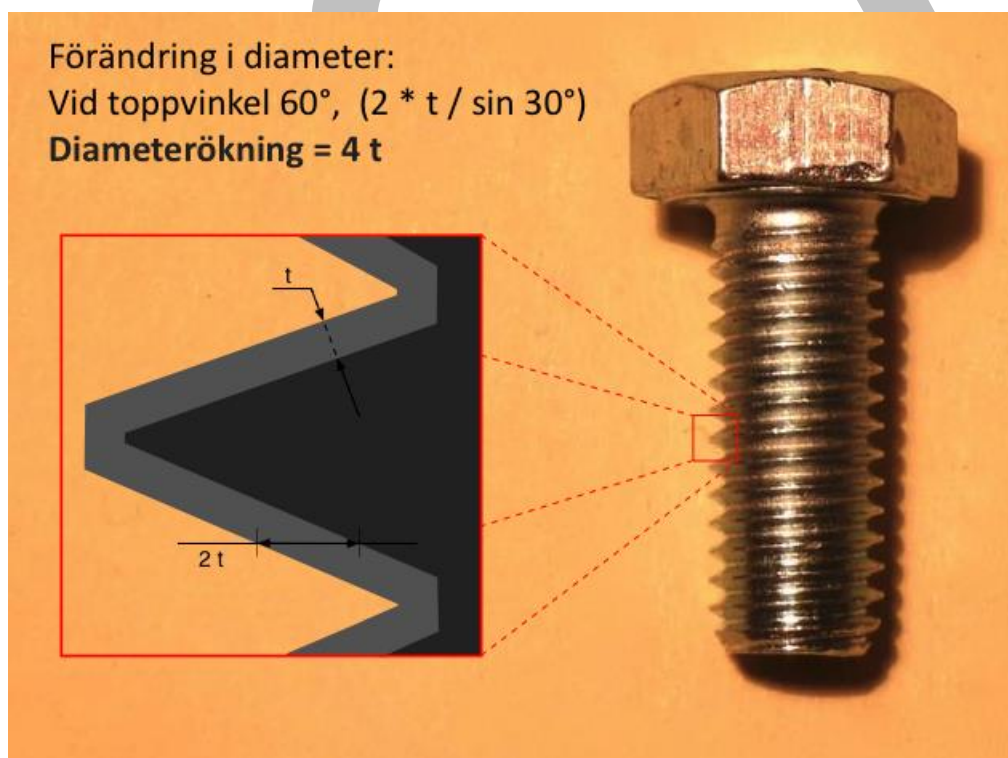
- ✚ Detaljerna skall utformas så att de inte kan trassla ihop eller trava sig i "myntroller".
- ✚ Produkter känsliga för slagmärken bör ej behandlas i trumma (särskilt för tyngre detaljer av mjukare material).
- ✚ Skiktjockleken kan variera mer än för hänggods.

Vid trumytbehandling erhålls en något jämnare skiktjockleksfördelning genom lägre fyllnadsgrad i trumman, något som då ger motsvarande högre kostnad.



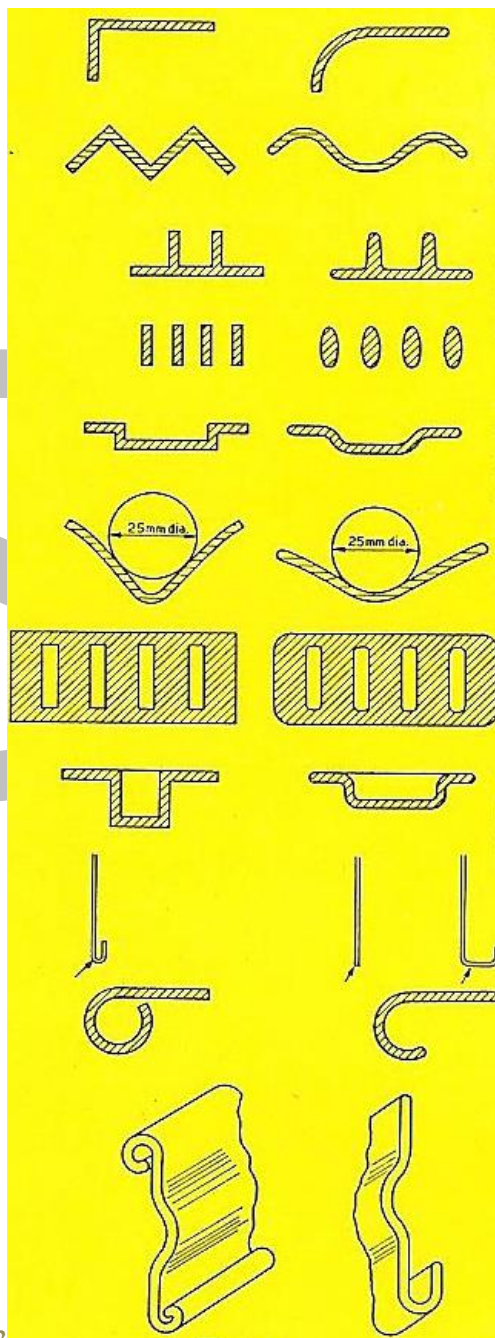
Ytbehandling av gängor

Som tidigare sagts erhålls tjockare skikt på topparna än i bottenarna. Beaktar man även att skiktjockleken mäts i rät vinkel mot underliggande material blir dessutom tillväxten i gängdiameter 4x skiktjockleken. Beroende på vilken skiktjocklek som är specificerad och vilket toleransutrymme som finns att arbeta inom, kan det vara nödvändigt med en underdimensionering. Idealt skulle en större sådan behöva göras på gängtopparna, men en ändring av gängformen vid bearbetningen blir normalt orealistiskt dyr och kan också äventyra hållfastheten. Man måste därför normalt specificera tunna skikt, kompromiss med andra krav.

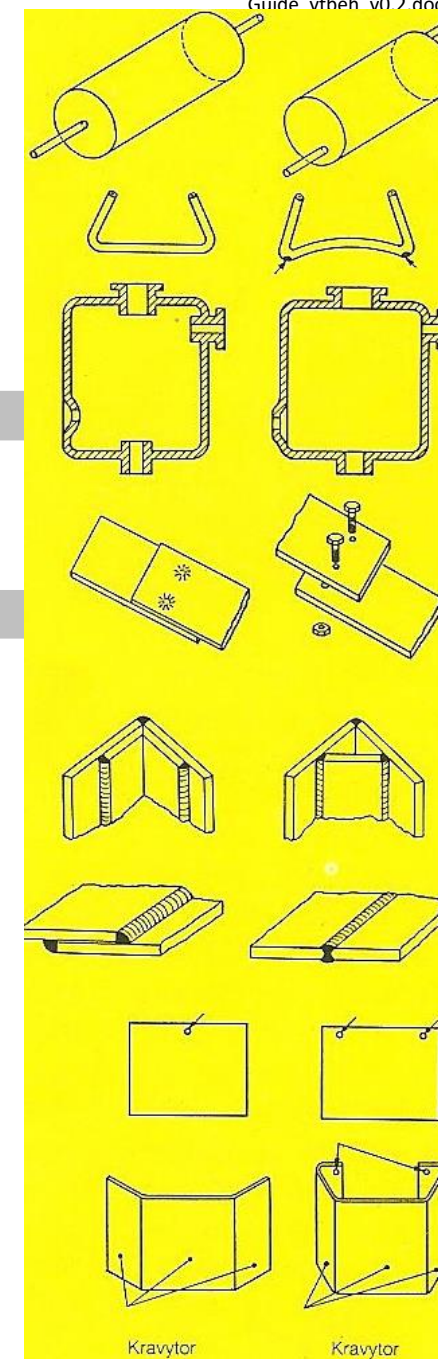


Således – Gör så här!

- ✚ Hörn och kanter bör avrundas så mycket som möjligt.
- ✚ Flänsar och liknande avrundas och separeras så mycket som möjligt.
- ✚ Fördjupningar avrundas med en radie på minst en fjärdedel av djupet.
- ✚ Inåtbuktade ytor ges en radie på minst 10 – 15 mm.
- ✚ Undvik skarpa hörn i hål.
- ✚ Undvik bottenhål!
Om de är nödvändiga – gör de grunda med avrundade hörn och kanter.
- ✚ Undvik om möjligt konstruktioner som gör att processlösningar stannar kvar.



- ✚ Förse hålutrymmen med dräneringshål.
- ✚ Inåtgående nipplar skall undvikas, alternativt kan extra dräneringshål göras.
- ✚ Överlappsfogar sammansätts efter ytbehandling.
- ✚ Svetsförband placeras så att spalter undviks.
- ✚ Upphångningshål placeras så att detaljen kan hängas med kravytorna utåt.



Faktorer som påverkar kostnaden för ytbehandling

Kostnaden för olika typer av ytbehandling och eventuella skillnader mellan leverantörer behandlas ej i detta dokument. Det finns dock ett antal faktorer som påverkar kostnaden i stort sett oberoende av typ av ytbehandling resp. leverantör. Mycket av detta framgår av texten under avsnitten "Konstruktionsmaterial" och "Konstruktion med hänsyn till ytbehandling" ovan samt i följande avsnitt "Underlag för köp av ytbehandling". Nedan ges några exempel på detta.

Val av material

- ✚ Finkorniga material med lågt legeringsinnehåll är lättare att ytbehandla och kräver vanligen tunnare skikt för att erhålla erforderligt korrosionsskydd.
- ✚ Höghållfasta material kan kräva värmebehandlingsoperationer både för och efter ytbehandling.
- ✚ Aluminiumgjutgods kan vara svårare att metallisera än plastiskt formade legeringar.
- ✚ Anodisering för dekorativa ändamål ej möjlig på gjutgods.

Konstruktiv utformning

- ✚ Komplexa former, bottenhål, trånga spalter etc. innebär ofta högre kostnader för att kompensera med tjockare skikt, speciella fixturer eller liknande (alltför trånga former kan göra det omöjligt att ytbehandla med acceptabelt resultat).
- ✚ För hänggods – beakta möjligheten att godset enkelt kan placeras en varubärare
- ✚ För massgods – detaljerna bör utformas så att de inte kan trassla ihop eller trava sig i "myntullar".

Bearbetningsmetod

- ✚ Bearbetningsmetoder som resulterar i lägre ytspänningstillstånd är att föredra, höghastighetsbearbetning utmärkt i detta avseende.
- ✚ Poleringsmetoder som innebär plasticering av ytprofilen (kulpolering, rullpolering, etc) bör undvikas, nedtryckta materialtoppar "reser sig" i ytbehandlingsprocessen.
- ✚ Hantering av gods med hjälp av magneter bör undvikas, magnetiserat material drar till sig partiklar i beläggningsprocessen och får rå yta.

Specifikation av ytbehandlingen

- ✚ Var noga med att ange vilka ytor på en detalj som är "kravytor" för att om möjligt undvika för tjocka skikt på andra ytor.
- ✚ Selektiv behandling av detaljer innebär att någon form av maskeringsteknik måste användas vilket oftast medför högre kostnader om det ej rör sig om större ytor och dyrbarare ytbeläggingsmaterial som ädelmetaller eller liknande.

Kommunikation och logistik

- ✚ Konstruktionsunderlaget bör sändas till leverantören i god tid för att kunna ta hänsyn till produktkritik.
- ✚ Beakta vilket antal detaljer i en leverans som ger optimal ytbehandlingskostnad samt vilken leveranstid som normalt krävs.

Underlag för köp av ytbehandling

För att erhålla en ytbehandling som innehåller de krav som ställs är det viktigt att dessa specificeras på ett sätt så att den inte kan misstolkas av leverantören. Att de ställda kraven är möjliga att möta med den valda processen måste kontrolleras av köparen. Den valda leverantören kan ofta ge råd vad som kan vara lämplig att använda. Beroende på detaljens utformning och valda material kan inte alltid prestanda nås som annars normalt är möjliga. Det är därför viktigt att ha en öppen dialog mellan köpare och leverantör. Om möjligt bör underlaget för beställningen av ytbehandlingen sändas till leverantören i god tid för att kunna ta hänsyn till produktkritik. Det skall också vara leverantörens uppgift att lämna produktkritik när möjlighet ges.

Kravytor och obelagda ytor

Vanligen tänker sig konstruktören att kravspecifikationen gäller en detaljs hela yta. I många kravstandarder anges kravytan som de ytor på detaljen som kan beröras med en kula med 20 mm diameter om inget annat specificeras. I praktiken kan större restriktioner än så behöva tillämpas beroende på vilka krav som ställs eller vilken metod som valts. I de fall kraven behöver uppfyllas över hela ytan krävs speciell omsorg och ofta att en högre medelskiktjocklek anges för att kravet på min. tjocklek skall kunna innehållas.

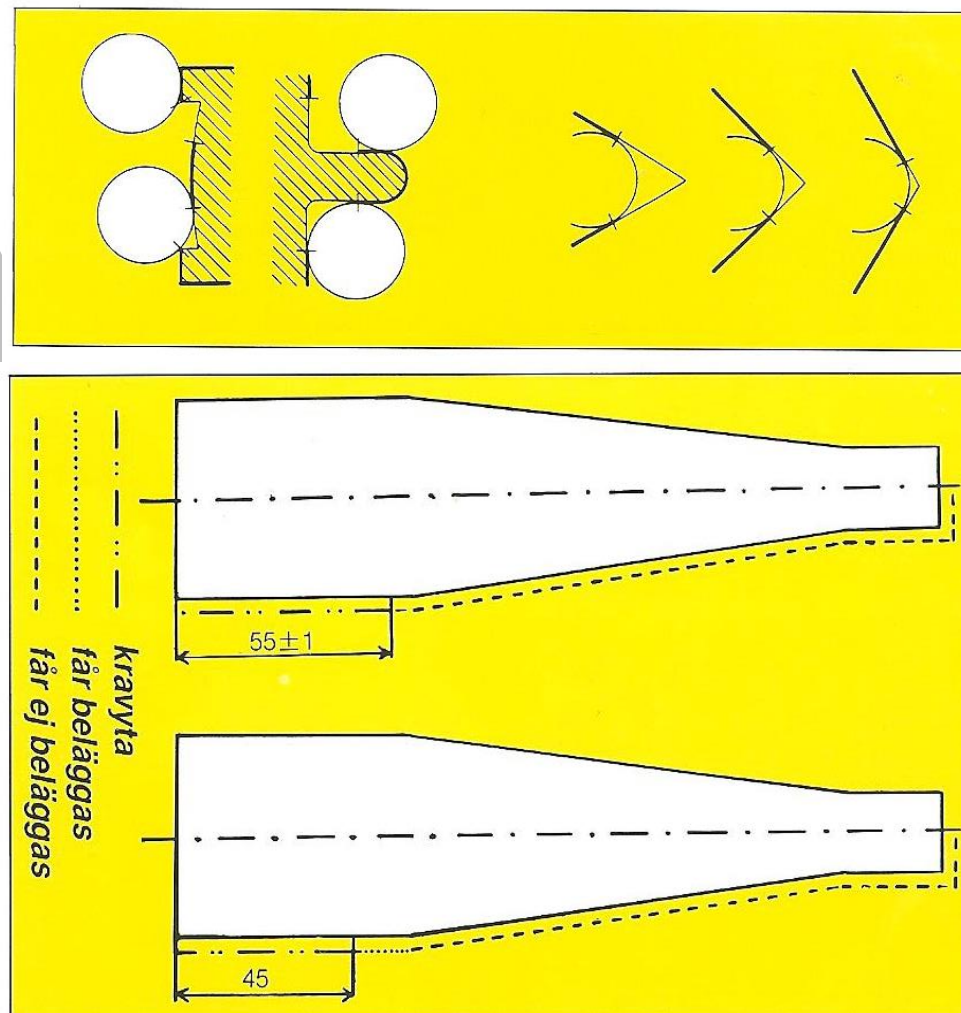
I de allra flesta fall är vissa ytor på detaljen mer utsatta eller mer kritiska än andra. Exempelvis kan:

- ✚ Utsidan av en utomhusdetalj utsätts för större korrosionspåkänningar.
- ✚ Kontaktpunkter i monterade konstruktioner utsätts för större slitage.
- ✚ Snäva toleranser endast avse en viss yta.
- ✚ Endast vissa ytor vara synliga.

Dessa ytor bör då specificeras som kravytor. Det är kostsamt att göra dessa onödigt stora, och totalekonomiskt bäst att specificera riktiga krav där de verkligen är befogade.

Som en följd av samma resonemang är det klokt att lägga in en mätpunkt där både leverantör och köpare kan göra kontroller. Denna läggs in på den mest kritiska delen på kravytan. Ibland kan flera punkter behövas.

En speciell form av kravytor är sådana ytor som inte får beläggas. Dessa måste således maskeras eller avskärmas genom specialfixturer. Kostnaderna kan bli väsentligt lägre om det mellan dessa ytor och kravytor för beläggnings ytor som får men inte behöver beläggas.



Angivelser på ritningar och annat underlag

Den valda ytbehandling måste specificeras på ett tydligt sätt så att det inte finns någon tvekan om vad som avses. Grunden bör utgöras av en standard. Numera tillämpas vanligen svenska utgåvor av Europa (SS-EN) eller internationella (SS-ISO) standarder för ytbehandling. Många större företag har egna normer för ytbehandling som dock oftast är väldigt lika de internationella, men viktiga skillnader kan förekomma. En svårighet kan vara nyare ytbehandlingsmetoder eftersom det oftast tar lång tid innan en EN eller ISO standard är fastställd. För att underlätta i dessa sammanhang tar SYF ibland fram egna standarder.

I de flesta normer framgår det hur ytbehandlingen skall specificeras och vilken ytterligare information som skall anges. Därutöver kan konstruktörer ange t.ex. kravtyor, lämpliga upphängningspunkter och mätpunkter på ritning.

I enlighet med SYF std 2000, Elektrolytiska beläggningar med zink och zinklegeringar, anges exempelvis följande på ritning:

- | | |
|---|--|
| ✚ 12 µm elförzinkning på stål med en blank passivering fri från sexvärt krom: | Elektrolytisk förzinkning SYF std 2000 - Fe/Zn12/P1 |
| ✚ 8 µm zink-nickel beläggning på stål med en svart passivering och sealer: | Elektrolytisk förzinkning SYF std 2000 - Fe/ZnNi8/P4/T2 |

I enlighet med SS-EN ISO 19598, Elektrolytiska beläggningar av zink och zinklegeringar på järn och stål med kompletterande behandlingar fria från Cr(VI), anges exempelvis följande på ritning:

- | | |
|---|--|
| ✚ 12 µm elförzinkning på stål, svart passivering fri från sexvärt krom, med eller utan sealer : | Elektrolytisk förzinkning ISO 19598 - Fe//Zn12//Fn//Tx |
| ✚ 8 µm zink-järn beläggning på stål med en svart passivering och sealer: | Elektrolytisk förzinkning ISO 19598 - Fe//ZnFe8//Fn//T2 |
| ✚ 8 µm zink-nickel beläggning på stål med en iriserande (blank) passivering och ingen sealer: | Elektrolytisk förzinkning ISO 19598 - Fe//ZnNi8//Cn//T0 |

Därutöver måste andra krav som exempelvis väteutdrivning, ömtåliga ytor etc. anges.

För kemisk förnickling i enlighet med SS-EN ISO 4527 anges på motsvarande sätt:

- | | |
|--|---|
| ✚ 25 µm kemnickel med 12% P på stål SS 2172: | Kemnickel SS 4527-Fe<SS2172>//NiP(12)25 |
| ✚ 35 µm kemnickel med 8% P på härdat stål SS 2140 med 12 h väteutdrivning @210°C: | Kemnickel SS 4527-Fe<SS2140>[ER(210)12]/NiP(8)35 |
| ✚ 35 µm kemnickel med 6% P på stål 2172 som skall härdas 3 h @300°C för ökad skikthårdhet: | Kemnickel SS 4527-Fe<SS2140>[HT(300)3]/NiP(6)35 |

En stor fördel är om detaljens vikt och, än mer, dess totala area kan anges på ritningen. Det kan vara mycket svårt att beräkna godsytan rätt på en komplicerad detalj, men detta mått är avgörande för inställning av processvärden som strömstyrka och godsmängd per skena. Är detaljen CAD-ritad är uppgifter om godsytan och vikt oftast lätt för konstruktören att infoga.

Underlag och förfrågningar för köp av ytbehandling

Ritning med en korrekt specificering av ytbehandlingen är det viktigaste underlaget. Men det finns mer information som kan vara viktig att förmedla till en ytbehandlare i samband med en offertförfrågan. Ett slarvigt och ofullständigt underlag gör att ytbehandlaren måste gardera sig i prissättningen för t.ex. att:

- ✚ Godset kräver extra förbehandling.
- ✚ Detaljerna inte passar i befintliga hängare.
- ✚ Leveranserna inte fungerar som avsett, med tidspress som följd.
- ✚ Detaljerna har större godsytta än som framgår av underlaget.
- ✚ Paketeringen är besvärlig och tidsödande.
- ✚ Tjockare skikt behövs p.g.a. detaljutformningen.
- ✚ Oklart formulerade krav, kan senare tolkas hårdare.
- ✚ Mycket tid går åt för att klara ut oklarheter.

Det blir också nödvändigt för ytbehandlaren att skjuta på detaljplanering och operationsberedning tills godset som skall ytbehandlas har levererats. Det kan då vara för sent att ytbehandla på effektivast möjliga sätt, t.ex. genom att införskaffa specialhängare eller att modifiera förbehandlingen.

Gods som skall ytbehandlas

Avgörande för möjligheten till ett bra ytbehandlingsresultat är godsets utformning och materialkvalité samt ytbehandlarens möjlighet till anpassning. Får inte ytbehandlaren en ritning kan en provdetalj vara nödvändig. För provserier eller förproduktion där ändringar kommer att göras till serietillverkning är det viktigt att ytbehandlingsleverantören får information om detta vare sig det rör sig om utformning, tillverkningsmetod, materialkvalité eller dylikt.

För att kunna ge kompetenta förslag och bedömningar måste ytbehandlaren förstå hur artikeln skall användas. Om inte detta är självklart bör alltså en sådan beskrivning bifogas, gärna i form av en krav- eller behovsspecifikation. Det senare är aktuellt framför allt i samband med större utvecklingsprojekt.

Materialkvalité

Grundmaterialet och tillståndet i godset måste specificeras noggrant. Även legeringsämnen i mycket små halter kan ha betydelse. Det gäller särskilt ämnen som kan anrikas i godsytan eftersom sammansättningen där påverkar ytbehandlingen. För anodisering kan valet av aluminiumlegering vara avgörande för vilket utseende som erhålls och vilken skiktjocklek som kan uppnås.

Det normala sättet att specificera materialet på är att hänvisa till en materialstandard. Om inte standarden redan finns hos ytbehandlaren bör en kopia bifogas. Uppgifter om vilka tillverkningsmetoder och eventuella härdningsprocesser som använts bör även anges.

Vid utfallsprover eller annan provytbehandling måste naturligtvis grundmaterialet vara identiskt med det som senare kommer att användas i serieproduktion. Även byte av materialleverantör kan påverka resultatet och bör undvikas eller, om det förekommer, klart deklaras.

Godsets skick

Det är vanligt att en provdetalj är ren och prydlig och mycket noggrant tillverkad. Ytbehandlaren behöver veta i vilket skick godset är vid serieleveranser.

- ✚ Används oljor eller fetter i tidigare tillverkningssteg? Kommer detaljerna att avfettas före inleveranser?
- ✚ Förekommer kraftig oxidbildning genom t.ex. värmebehandling, svetsning eller lödning?
- ✚ Finns risk för större korrosionsangrepp vid t.ex. förvaring eller transporter i tillverkningskedjan?
- ✚ Är någon del av godset tidigare ytbehandlad? I så fall, vilken typ av ytbehandling?
- ✚ Kan svets- eller andra förband ge upphov till spalter eller andra svåråtkomliga hålrum som är besvärliga att skölja?

Fordringar

På det här stadiet är det i regel specificerat vilken ytbehandling som skall göras. Det normala är hänvisning till någon existerande standard, antingen internationell, nationell eller företagsspecifik.

Det kan finnas skäl att kontrollera att hänvisningen till standard är entydig och förstådd av båda parter. Viktigt är att notera vilka krav i en standard som alltid skall innehållas och vilka som skall specificeras av kund. Det kan vara bra att bifoga en kopia på standarden om det inte är en internationellt erkänd.

Kan ingen standard för kraven tillämpas måste det specificeras i varje enskilt fall. Även avsteg från en standard måste givetvis klart anges.

Det är viktigt att klarlägga vilka ytor som omfattas av kraven liksom eventuella ytor som inte får beläggas. Att ange alla ytor som kravytor, fördyrar sannolikt ytbehandlingen och är sällan nödvändigt. Vad gäller skiktjocklekskrav vill man helst hänföra dem till en eller ett par punkter. Man väljer då, om det gäller minimumskiktjocklek, den punkt på kravytan där tunnaste skiktet kan förväntas.

Kontroller

En ytbehandlare med bra kvalitetssystem utför processkontroll, tillverkningskontroll och resultatuppföljning i tillräcklig omfattning för att säkerställa att ställda krav innehålls.

Det kan emellertid finnas kontrollbehov därutöver. Det kan t.ex. gälla:

- ✚ Kontroller av tidigare tillverkningssteg som av någon orsak är mer rationell att utföra hos ytbehandlaren.
- ✚ Slutkontroller av exempelvis mått eller finish som kan påverkas i flera olika steg i tillverkningskedjan.
- ✚ Kontroller enligt någon specifik metod som föreskrivits av kund eller slutkund.
- ✚ Krav på dokumentation, t.ex. mätprotokoll utformat enligt speciella önskemål.

Paketering och logistik

Det normala sättet att packa det ytbehandlade godset är placering på europapall med kragar på samma sätt som det levererades, utan krav på att det är exakt samma pall. Avsteg från detta måste klargöras. Särskilt måste det anges om godset är ömtåligt så att det kan skadas vid normal hantering, om det skall packas i kartonger, i annat emballage eller packas individuellt i särskilt paketeringsmaterial.

Om ytbehandlaren skall ombesörja transporter till eller från sin verkstad måste detta anges, liksom eventuella krav på hur dessa transporter skall gå till. Ofta önskas leveranser till annan adress, t.ex. till slutkund, vilket ytbehandlaren naturligtvis behöver veta.

I allt större utsträckning tar ytbehandlaren ett större ansvar för lagring av gods och leverans till många olika adresser. Detta kan innebära betydande besparingar för kunden, både när det gäller pengar och tid. Det är viktigt att dessa krav går igenom i samband med offertförfrågan.

Godsvolymer

Det är självklart att priset påverkas av både parti- och seriestorlekar och att detta därför måste anges. Dessa uppgifter behövs också för produktionsplanering och för en riktig avvägning av vilken specialutrustning, t.ex. hängare, som skall anskaffas.

Leveranser

Tidsplaneringen måste klaras ut på ett tidigt stadium. Detta gäller både för tillverkningsstart och senare vid serietillverkning.

De flesta ytbehandlare räknar med en eller två veckors leveranstid, men kan klara betydligt hårdare krav med god planering. Ju hårdare krav på tidshållning, "just-in-time", som finns, desto viktigare blir denna del av underlaget till ytbehandlaren. Hur kommer planeringsunderlag att se ut och hur kommer det att delges? Kan ytbehandlaren lita på det? Är det känt att planeringen blir ryckig och att expressytbehandling ibland kommer att behövas är det ingen mening med att förtiga det då de i så fall kan resultera i oplanerade kostnader för kunden.

Ytbehandlaren utgår från att gods som levereras till honom är märkt så att det är entydigt identifierat och att det inte råder något tvivel om vilken ytbehandling som skall utföras. Kan sådan märkning av någon orsak inte göras måste även detta anges. Finns speciella krav på märkning av det gods som levereras från ytbehandlingen anges också detta.



Ytbehandlingsprocesser

Anodisering

Anodisering är en ytomvandlingsprocess som kan tillämpas på lättmetaller som aluminium, magnesium, titan, tantal och niob. I särklass vanligast är anodisering av aluminium som används för att erhålla dekorativa ytor med möjlighet till olika färger, nötningsbeständighet, skydd mot korrosion och elektrisk isolation. Magnesium anodiseras främst för att förstärka korrosions- och nötningskydd. Titan främst för att förhindra skärning mot andra metaller (t.ex. i gängor) eller för att erhålla olika färger. Genom att elektrolytiskt oxidera ytan i syrabad bildas ett skyddande oxidskikt med en tjocklek på 3 – 30 µm på aluminium, upp till 80 µm på magnesium och vanligen under 1 µm på titan. I särklass vanligast och tillgängligt på den svenska marknaden är anodisering av aluminium.

Tillämpningar:

- ✚ Dekorativt:
 - ◇ Ytstrukturen kan förändras genom förbehandlingar med borstning, slipning, blästring, kemisk polering etc.
 - ◇ Olika färger kan erhållas genom infärgning av skiktet (eller genom interferensfärger – främst för titan).
- ✚ Skydd mot korrosion.
- ✚ Skydd mot nötning.
- ✚ Bas för organiska skikt, lim och lack, samt smörjmedel.
- ✚ Elektrisk isolation.

Anodisering av aluminium

De processer som idag förekommer för anodisering av aluminium är baserade på svavelsyra, fosforsyra, oxalsyra eller blandningar mellan svavelsyra och organiska syror. Tidigare användes kromsyra för anodisering av detaljer främst inom flyg- och rymdindustrin men dessa ersätts numera av miljöskäl med anodisering i fosforsyra eller i blandelektrolyt av svavelsyra och borsyra. Den i stort sett enda process som används av leverantörer av ytbehandlingstjänster i Europa är baserad på svavelsyra. Vid anodisering av aluminium i en svavelsyraelektrolyt förbrukas teoretiskt enbart vatten och elektrisk energi. Syret från vatten bildar tillsammans med aluminium från detaljen ett oxidskikt och vätet som frigörs avgår som gas, ur miljösynpunkt kan därför processen betraktas som ren.

Det finns en mängd tillämpningar för svavelsyraanodiserade skikt. Genom att variera processparametrarna kan olika egenskaper väljas utgående från den valda tillämpningens krav. Skillnaden mellan de klara och de dekorativa grupperna ligger huvudsakligen i ytfinishen hos ytorna innan godset anodiseras. Vid glansanodisering sker en kemisk polering av ytan under förbehandlingsprocessen. Om ytan ska bibehålla sin glans och ha hög reflektivitet skall skiktjockleken vara låg, under 10 µm, helst endast 5 µm.

Det finns en balans mellan oxidens tillväxt och upplösning. Detta begränsar den maximala skiktjockleken som kan uppnås. I praktiken produceras sällan tjockare skikt än 25 µm.

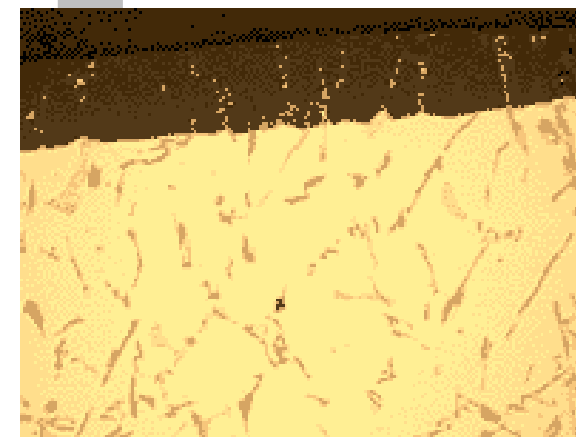




Aluminium och aluminiumlegeringar för anodisering

Generellt sett är rent aluminium mer lämpat för anodisering än legerat aluminium. Det är dock inte bara en fråga om renhet utan även typen av legeringselement spelar en viktig roll. Föroreningarna eller tillsatserna kan finnas:

- ✚ I homogen fast lösning som normalt ej påverkar anodiserbarheten nämnbart.
 - ◇ t.ex. mangan i AW-3XXX och magnesium i AW-5XXX-legeringar.
- ✚ Som intermetalliska föreningar inom kornen som kan orsaka porer i och missfärgning av skiktet.
 - ◇ t.ex. kopparaluminider i AW-2XXX och utskiljningar från legeringsämnen och föroreningar.
- ✚ Som utskiljningar vid korngränserna som försvårar anodisering och missfärgar skiktet.
 - ◇ som t.ex. kisel i gjutlegeringar som illustreras i bilden till höger. Tvärsnitt genom anodiserat gjutgods där kisel (mörkare områden i grundmaterialet) ej bildar oxidskikt i skiktet (ljusare stråk i skiktet).



De flesta legeringar kan anodiseras med måttligt eller gott korrosionsskydd. Om transparent dekorativ anodisering är det primära kravet finns endast ett fåtal legeringar att välja bland. I allmänhet kan man säga att valsat och extruderat material är mer lämpat för anodisering än gjutet material, främst på grund av att gjutlegeringar normalt har högt kiselinnehåll. De legeringar som är bäst lämpade för anodisering är AlMg (AW-5xyz) och AlMgSi (AW-6xyz) med låga halter av mangan. Koppar och andra tungmetaller medför oftast att skikt kvaliteten försämras.

I tabellen nedan ges information om förväntat resultat på olika legeringar.

Plastikt formade legeringar Beteckning enligt SS-EN	Tidigare SS-beteckning	Lämplighet för anodisering	Korrosionsskydd	Utseende	Skittjocklek (max µm)	
AW-1050A	Al 99,5	SS 4007	Dekorativ	Utmärkt	Klar -ljus	ca 25
AW-1070A	Al 99,7	SS 4005	IU	IU	Klar -ljus	ca 25
AW-1200	Al 99,0	SS 4010	God, ej dekorativ	IU	Klar -ljus	ca 25
AW-1350	E Al 99,5	(SS 4008)	IU	IU	Klar -ljus	ca 25
AW-2007	Al Cu4PbMgMn	(SS 4335)	IU	IU	Gulskimrande	ca 15
	Al Cu4MgPb	SS 4335	IU	IU	Gulskimrande	ca 15
AW-2011	Al Cu6BiPb	SS 4355	Mindre god, ej dekorativ	Mindre bra	Gulskimrande	ca 15
AW-2014	Al Cu4SiMg	SS 4338	Mindre god, ej dekorativ	Mindre bra	Gulskimrande	ca 15
AW-2017A	Al CuMgSi(A)		IU	IU	Gulskimrande	ca 15
AW-2024	Al Cu4Mg1		Mindre god	Mindre bra	Gulskimrande	ca 15
AW-3003	Al Mn1Cu		IU	IU	Ljusgrå - brun	ca 15
AW-3103	Al Mn1	SS 4054	IU	IU	Ljusgrå - brun	ca 20
AW-5005	Al Mg1(B)	SS 4106	Utmärkt	Utmärkt	Klar, arkitekturändamål	ca 25
AW-5049	AlMg2Mn0,8	SS 4115	IU	IU	Klar	ca 25
AW-5052	Al Mg2,5	SS 4120	God	Utmärkt	Klar - ljus	ca 25
AW-5083	Al Mg4,5Mn0,7	(SS 4140)	God	Utmärkt	Ljusgrå	ca 25
	Al Mg4,5Mn	SS 4140"				
AW-5086	Al Mg4		IU	IU	Ljusgrå	ca 25
AW-5754	Al Mg3	SS 4125	God	Utmärkt	Klar - ljus	ca 25
AW-6005	Al SiMg	SS 4107	IU	IU	Klar	ca 20
AW-6012	Al MgSiPb		God, ej dekorativ	Mycket bra	Klar	ca 20
AW-6060	Al MgSi	SS 4103	Utmärkt	IU	Klar, dekorativ	ca 20
AW-6061	Al MgSiCu		Mindre god	Mindre bra	Ljusgrå	ca 20
AW-6063	Al Mg0,7Si	(SS 4104)	Utmärkt	IU	Klar, arkitekturändamål	ca 20
	Al Mg0,5Si"	SS 4104				
AW-6082	Al Si1MgMn		Mindre god	IU	Grå	ca 15
AW-6101B	Al MgSi	(SS 4102)	Utmärkt	IU	Klar, dekorativ	ca 20
AW-6262	Al Mg1SiPb		God	Mycket bra	Klar	ca 20
AW-6463	Al Mg0,7Si(B)		IU	IU	Klar, glansanodisering, arkitekturändamål	ca 20
AW-7020	Al Zn4,5Mg1	SS 4425	Mindre god	Mindre bra	Ljusgrå	ca 20
AW-7022	Al Zn5Mg3Cu		Mindre god	Mindre bra		ca 15
AW-7075	Al Zn5,5MgCu	(SS 4440)	Mindre god	Mindre bra	Ljust grågul	ca 15

**IU" i tabellen anger att uppgift saknas. **Pulvermetallurgiskt framställt material kan uppvisa andra egenskaper än vad som anges ovan

Gjutlegeringar Beteckning enligt SS-EN	Tidigare SS-beteckning	Lämplighet för anodisering	Korrosionsskydd	Utseende	Skittjocklek (max µm)
AC-42 000 Sand- kokill- gjutgods	Al Si7Mg Al Si7MgFe (SS 4244) SS 4244	Rel. God	IU	Ljusa grå skikt på bearbetade ytor, mörkare på obearbetade ytor	ca 10
AC-42 100 Sand- kokill- gjutgods	Al Si7Mg0,3 Al Si7Mg (SS 4245) SS 4245	Rel. God	IU	Skikten går att färga in men ger mörka dova kulörer, detta gäller framförallt sandgjutgods	ca 10
AC-43 000 Sand- kokill- gjutgods	Al Si10Mg(a)	Rel. God	IU	IU	ca 10
AC-43 100 Sand- kokill- gjutgods	Al Si10Mg(B) SS 4253	Rel. God	IU	IU	ca 10
AC-44 100 Sand- kokill- gjutgods	Al Si12(b) SS 4261	Mindre god	IU	IU	ca 10
AC-44 300 Press- gjutgods	Al Si12Fe SS 4263	Ej god	IU	Mörka flammiga odekorativa skikt	3 till 7
AC-44 400 Press- gjutgods	Al Si9 Al Si10 (SS 4255) SS 4255	Mindre god	IU	Ej möjliga att infärga	3 till 7
AC-46 000 Press- gjutgods	Al Si9Cu3(Fe) Al Si8Cu3 (SS 4250) SS 4250	Bör undvikas	IU	IU	3 till 7
AC-46 100 Press- gjutgods	Al Si11Cu2(Fe)	Bör undvikas	IU	IU	3 till 7
AC-46 200	Al Si8Cu3 (enl AA = A380) SS 4251	IU	IU	IU	3 till 7
AC-46 500	Al Si9Cu3(Fe)(Zn) Al Si9Cu3 (SS 4252) SS 4252	IU	IU	IU	3 till 7
AC-47 000	AlSi12(Cu) SS 4260	IU	IU	IU	3 till 7

*"IU" i tabellen anger att uppgift saknas.

Godshantering

Obehandlade aluminiumytor är mycket känsliga och får lätt mekaniska skador, i synnerhet om detaljerna har högre vikt. Det är därför viktigt att godset packas så att det kan hanteras utan att skador uppstår. Ytorna är även känsliga för oxidation och kemisk påverkan från t.ex. bearbetningsvätskor. Gods som förvaras i förpackningar där kondens uppstår och/eller bearbetningsvätskor har torkat in på ytorna kan vara mycket svåra att förbehandla så att ett bra resultat erhålls. Detta gäller givetvis i synnerhet för dekorativa applikationer.

Varuhängare (fixturer/jiggas) är normalt tillverkade i aluminium eller titan. Aluminiumfixturer har begränsad livslängd. Titan är dyrare men också mer beständigt än aluminium. En annan viktig skillnad mellan aluminium och titan är ledningsförmågan, titan har endast 1/16 av ledningsförmågan hos aluminium. Framst av denna orsak används vanligen titanfixturer för anodisering av små detaljer. Elektrolytisk infärgning kan inte utföras med titanhängare.

I kontaktpunkterna mot den använda fixturen bildas inget skikt, ett litet kontaktmärke lämnas på godset. Fixturering i aluminiumhängare ger större märken än de från titanhängare som ofta kan vara så små att de ej kan upptäckas av ett otränat öga. Bilderna nedan visar några exempel på upphängningsalternativ.



Anodisering av små detaljer kan med viss svårighet utföras i korg. Detaljerna pressas samman under anodiseringsprocessen så att alla detaljer får elektrisk kontakt med varandra. Kontaktpunkterna kommer inte att anodiseras, men de utgör bara en liten del av den totala arean. Vissa detaljer riskerar att inte ha någon elektrisk kontakt och kommer då att förbli obelagda och måste sorteras bort för omytbehandling om det är möjligt.

Anodiseringsprocessen

Under anodiseringsprocessen bildas ett hårt, nötnings- och väderbeständigt, mer eller mindre poröst skikt av aluminiumoxid på godset. Skiktets struktur och egenskaper beror av vilken elektrolyt och vilka processparametrar som använts. Likström med en konstant strömtäthet eller spänning används normalt. Skiktjockleken är vanligen i intervallet 3 till 30 μm .

Oxidskiktets tjocklek kan grupperas efter tillämpningar enligt följande:

- ✚ 5 µm: Normal exponering inomhus.
- ✚ 10 µm: Normal exponering inomhus eller utomhus i rena, torra miljöer, till exempel reflektorer, bildetaljer, etc.
- ✚ 15 µm: Lätt till måttlig nötning inomhus, t.ex. dörrhandtag, rena dekorativa ytor utomhus.
- ✚ >15 µm För att för att uppnå bra resultat vid infärgning.
- ✚ 20 µm: Normal till kraftigare exponering utomhus, t.ex. byggnader, fordon, fartyg, etc.
Svårare inomhusexponering av kemikalier, t.ex. utrustning till livsmedelsindustrin.
- ✚ 25 µm: Starkt korrosiv eller nötande utomhusmiljö.

För tillämpningar med höga påkänningar eller speciella funktionella krav kan anodiserade skikt tjockare än 50 µm produceras med speciella processer, se **hårdanodisering**.

Vid anodiseringsprocessen bildas först ett icke-poröst mycket tunt barriärskikt (<0,03 µm). Processen går sedan över i tillväxt av ett poröst skikt för att slutligen uppnå ett jämviktstillstånd då skiktillväxten balanserar elektrolytens upplösning av skiktet. Man har nått den maximala tjockleken för det aktuella materialet i den använda processen.

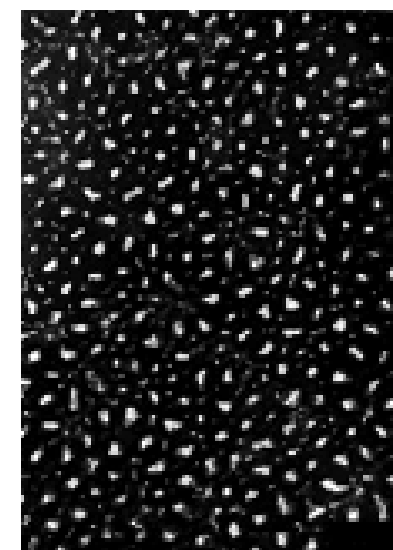
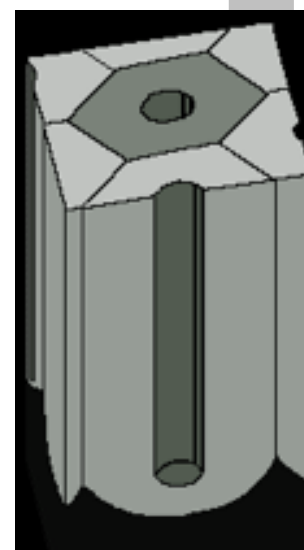
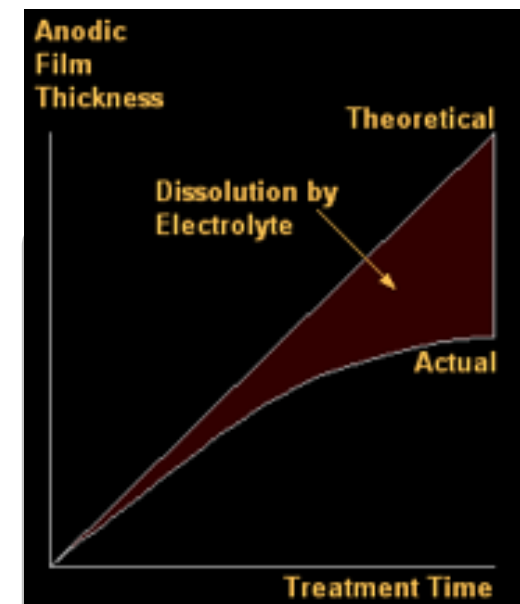
S Y

Strukturen i det porösa skiktet är normalt hexagonalt, schematiskt illustrerat i figuren till vänster, mikroskopbilden längst till vänster visar ett skikt i vy uppifrån där de ljusa fläckarna är porer.

- ✚ Antal porer: $1 - 3 \times 10^{11}$ porer per cm^2
- ✚ Pordiameter: 0,015 µm
- ✚ Porväggens tjocklek: 0,005 – 0,015 µm
- ✚ Porens längd: 25 µm (oxidskiktets tjocklek)

Porernas diameter är väldigt liten i jämförelse är deras längd. Förhållandet mellan diameter och längd är upp emot 1:1500. För att åskådliggöra detta förhållande kan man jämföra med Eiffeltornet. Om en por har samma längd som Eiffeltornets höjd skulle diametern vara ca 20 cm.

Normalt erhålls färglösa transparenta skikt men legeringar som innehåller höga halter kisel resulterar i grå- eller brunaktigt färgade skikt. Större utskiljningar av intermetalliska faser med t.ex. järn, mangan, koppar som ej omvandlas till skikt kan även ge upphov till mörka prickar.



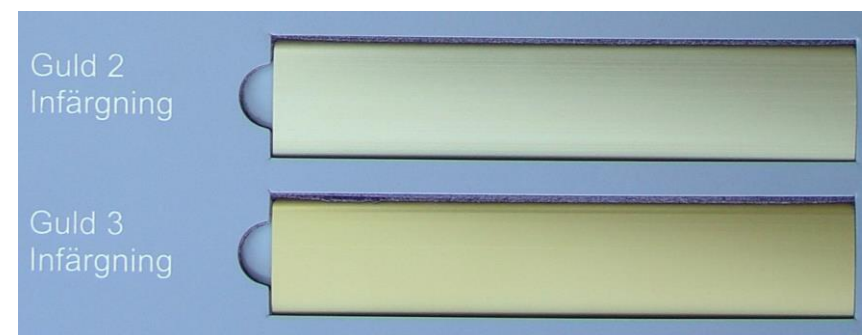
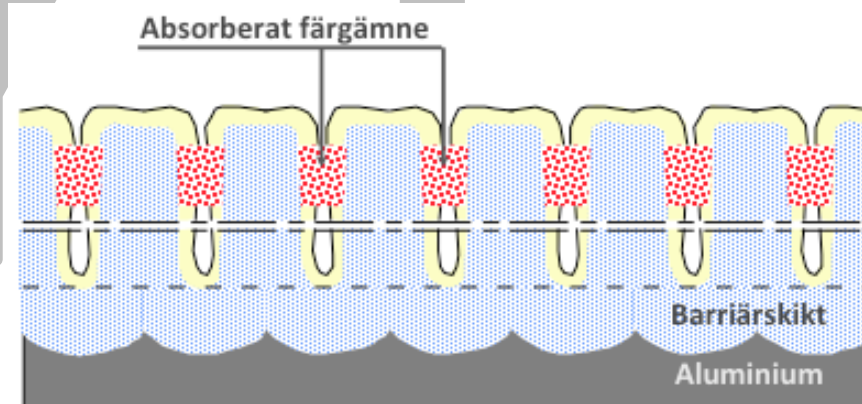
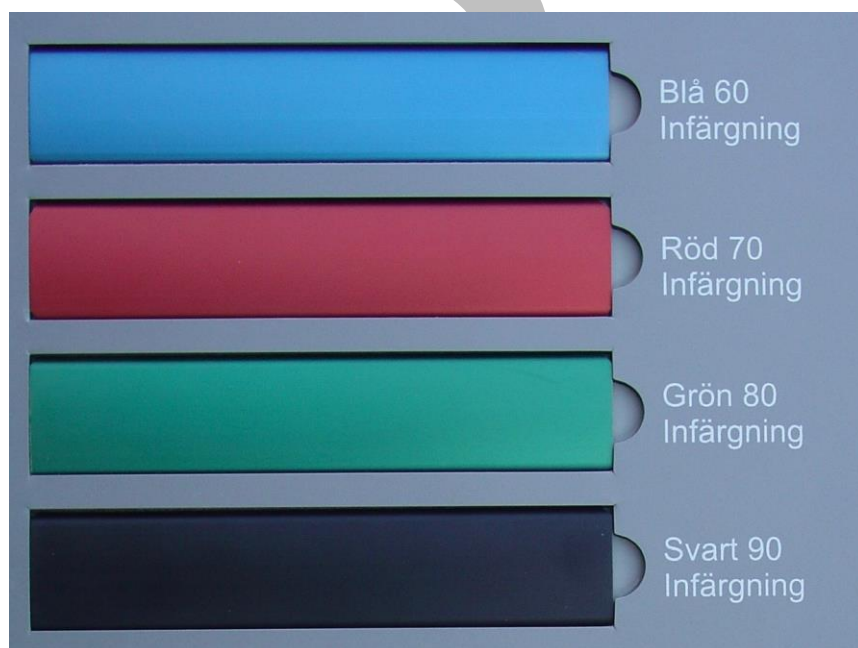
Infärgning av anodiserade skikt

Färgning av anodiserade skikt kan göras med följande metoder:

- ✚ Doppinfärgning med färger och pigment (absorption).
- ✚ Elektrolytisk infärgning (växelströmsinfärgning).
- ✚ Interferensfärgning.
- ✚ Intergralinfärgning.

De första tre metoderna ovan utförs i två steg, anodiseringen och infärgningen utförs i olika bad. Den sista metoden utförs i ett steg, anodisering och färgning görs i samma bad. För speciella tillämpningar kombineras metod 1 och 2 ovan. Vanligast förekommande i legoverkstäder är doppinfärgning och då med ett mindre antal kulörer, växelströmsinfärgning utförs av ett fåtal. Interferens- resp. integralinfärgning förekommer ej på den öppna marknaden i Sverige.

Infärgning genom absorption är den vanligaste infärgningsmetoden. Genom att doppa de anodiserade detaljerna i en vattenlösning med färgämnen kommer porerna att absorbera färgämnet. Infärgning med absorptionsmetoden kontrolleras av filmtjockleken och den tillgängliga porarean för molekylerna i färgämnet att absorbera. Vanligast är att det anodiserade skiktet framställts med svavelsyraanodisering. För djupa, klara färger krävs minst en oxidtjocklek på 15 µm. För god väderbeständighet krävs 20 µm. Infärgningen följs av en eftertätning för att erhålla en god beständighet. Möjligheten till mängden olika färger gör att organiska färgämnen är vanligast. Oorganiska färgämnen är mindre använda men har allmänt bättre väderbeständighet. Det förekommer även att infärgningslösningen appliceras genom sprutning istället för genom doppning.



Elektrolytisk infärgning är en process där metallsalter elektrolytiskt fälls ut i botten av oxidfilmens porer.

Genom att doppa anodiserade detaljer i en sur lösning som innehåller metallsalter och applicera en växelström kommer metallsalterna att fällas ut i den porösa oxidstrukturen till ett djup av 1 till 5 µm. Oxidskiktets färg bestäms av karakteristiken hos metallsaltet och behandlingstidens längd. Ju längre tid, desto djupare och mörkare nyans.

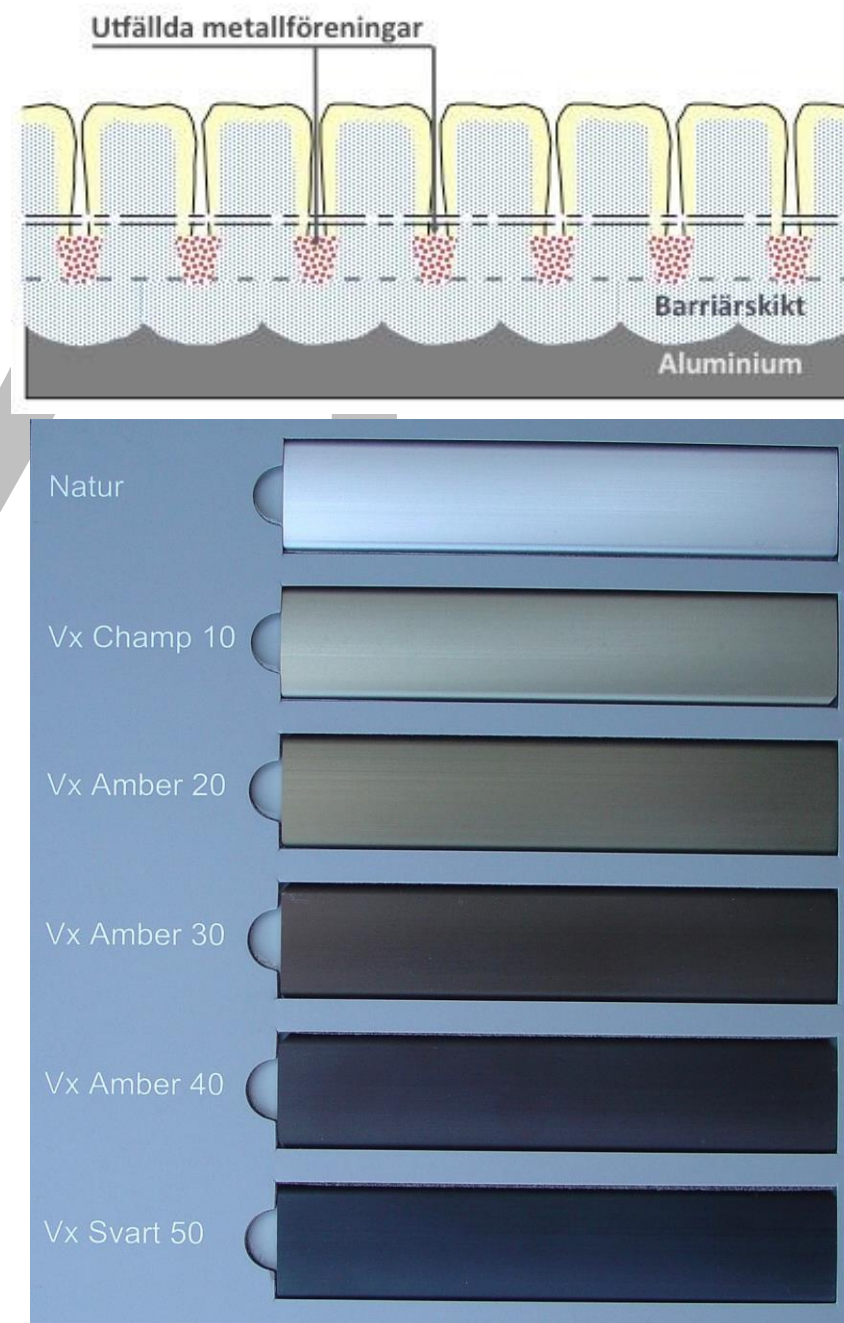
De vanligast använda metallsalterna är baserade på tenn, nickel, kobolt och koppar.

- ✚ **Tenn** ger färger från champagne, via olika bronsnyanser till svart och är den vanligaste typen av infärgning.
- ✚ **Nickel** ger olika nyanser av brons till svart, se vidstående bild. Svår att använda men förhållandevis billig.
- ✚ **Kobolt** kan ge hela skalan av bronsnyanser och svart. Ger bra spridning men är dyr i förhållande till nickel.
- ✚ **Koppar** ger nyanser av rosa via rödlila till svart.

Skalan av färger man kan få med elektrolytisk infärgning är mer begränsad än med doppinfärgning med organiska färger. Den huvudsakliga fördelen är färgernas ljusäktighet vilket lett till en omfattande användning inom byggnadsindustrin. Vanligast är att tekniken används för infärgning vid anodisering av extruderade profiler i långa längder. När tekniken används för infärgning av färdiga detaljer (s.k. kortbitsanodisering) är det mycket viktigt att fixtureringen av detaljerna ger samma strömmängd till varje detalj för att nyansskillnader ej skall uppstå.

De flesta legeringar kan infärgas med elektrolytiska metoder. Legeringar med höga kiselhalter är problematiska eftersom intermetalliska föreningar kan överbrygga barriärskiktet. Detta kan resultera i en högre strömtäthet vilket orsakar vätgasutveckling som motverkar en effektiv infärgning.

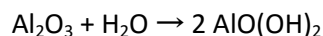
Smuts som sitter på ytan drar åt sig och håller fukt vilket bildar korrosionsceller. Därför behöver man tvätta elektrolytiskt infärgade ytor som används utomhus för att de ska behålla glansen under längre tidsperioder.



Eftertätning

Konventionell anodisering i svavelsyra följs alltid av en eftertättningsprocess om inte speciella skäl mot det finns, som t.ex. att tryck skall utföras på ytan eller att man av andra skäl vill lämna porerna i ytan öppna. Eftertätningen förbättrar skiktets beständighet mot korrosion och att absorbera stänk. Det förhindrar även att färgämnen blöder ut och förbättrar ljusäktheten hos infärgade skikt.

Genom varm eftertätning sluts porerna i oxidskiktet, oxiden hydratiseras och omvandlas till Böhmit, se vidstående bild.

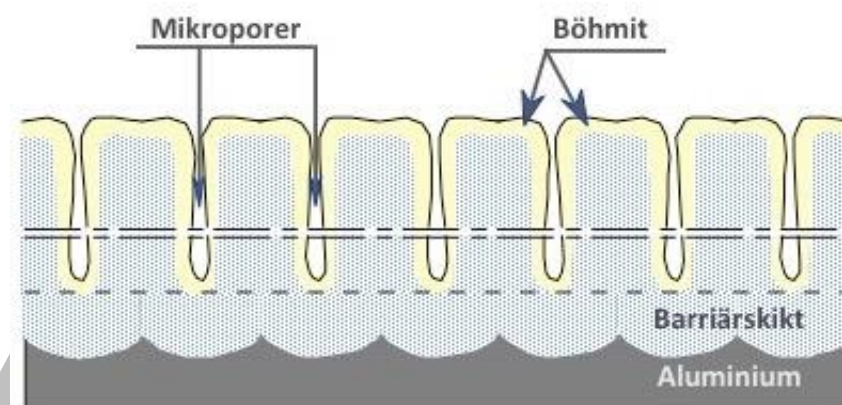


Omvandlingen medför en ökning av skiktets volym vilket bidrar till att porerna sluter sig. Processen utförs genom doppning av de anodiserade komponenterna i varmt vatten (minst 98°C) under 15 – 30 minuter (min 1 minut per µm skikt). Tekniskt och i standarder etc. benämns metoden ofta hydrotermisk eftertätning.

Vissa organiska färgämnen tenderar att blöda ut från oxidskiktet under eftertättningsprocessen. Detta kan förhindras genom en kort eftertätning i avjoniserat vatten med tillsats av nickel- eller koboltacetat. Denna process kan också förbättra ljusäktheten hos elektrolytiskt infärgade och integralinfärgade oxider.

Kall eftertätning utvecklades under slutet av 1900-talet, primärt för att minska energikonsumtionen. Ett antal olika eftertättningsmetoder vid lägre temperaturer blev frukten av detta arbete. Det finns så kallade "medeltemperatur" (kring 60°C) och kalla (nära rumstemperatur) eftertättningsmetoder på marknaden. De senare baseras inte på en fasomvandling av aluminiumoxid till böhmit utan på igenpluggning av porerna, till exempel med nickelsalter, fluorider eller silikater. De kalla eftertättningsmetoderna har inte ersatt de traditionella varma metoderna utan existerar parallellt. En fördel man funnit med de "kalla" metoderna är att de ger mindre problem med utblödning av färg efter doppinfärgning och kan ge klarare färger. Vissa metoder där kall och varm eftertätning kombineras har även visat sig ge bättre korrosions och kemikaliebeständighet. Eftertätning med tillsatser av dessa kemikalier är ej tillåtet för applikationer inom livs- och läkemedelsindustrin enligt SS-EN 14392.

Tillämpliga normer:	SS-EN ISO 7599	Allmänna specifikationer för anodiserade beläggningar på aluminium
	SS-EN 12373-1	Metod för att specificera dekorativa och skyddande anodiserskikt på aluminium
	SS-EN 14392	Krav för anodiserade produkter för användning i samband med livsmedel
	MIL-A-8625	Anodic Coatings for Aluminum and Aluminum Alloys



Betning av rostfritt

Betning kallas förfarandet att lösa och avlägsna ytföroreningar hos exempelvis värmebehandlade och svetsade rostfria konstruktioner. Vid betningen avlägsnas glödska, svetsoxider, eventuella föroreningar från andra metaller, blästermedel med mera från den rostfria ytan.

Tillämpningar:

- + Dekorativt:
Rengöring från oxider och inbäddade partiklar
- + Korrosionshärdighet:
Avlägsnar metaller från ytan som kan förorsaka missfärgningar och korrosion.

Betningen utförs vanligen i salpetersyrabad med tillsats av fluorider. Särskilda processbad finns även för betning av superlegeringar på nickel- eller koboltbas. Viktigt är att detaljerna efter behandling sköljs noggrant och passiveras. Passivering sker normalt i utspädd salpetersyra utan tillsatser.

Tillämpliga normer:	SS-EN	Ingen svensk eller europeisk standard faställd för betning av rostfritt stål
	ASTM A380	Practice for Cleaning, Descaling and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment and Systems
	EN 2516:1997	Passivation of corrosion resisting steels and decontamination of nickel base alloys



Elpolering

Elektrolytisk polering görs för att erhålla en blank dekorativ yta samtidigt som Korrosionshärdigheten förstärks väsentligt. Ofta elpoleras detaljer för användning i marin miljö, i hård industriatmosfär samt för applikationer inom livs- och läkemedelsindustrin. Metoden kan även användas som förbehandling vid elektrolytisk metallbeläggning för erhålla god vidhäftning och hög glans. Vanliga austenitiska rostfria stål (s.k. 18/8-stål) lämpar sig bäst om hög glans önskas men även ferritiska och duplex-stål kan behandlas.

Tillämpningar:

- + Dekorativt:
Förbättrar glans på rostfritt material.
- + Korrosionshärdighet:
Bättre ytfinhet, och renhet från andra metaller, förbättrar korrosionsegenskaperna hos rostfritt stål.
- + Avgradning:
Grader från skärande bearbetning avlägsnas.
- + Livsmedelsmaskiner, bioteknik och farmaceutiska applikationer:
Porfrihet gör ytan lätt att rengöra och förhindrar bakterietillväxt.
- + Processindustri och kärnkraft:
Ytan görs fri från föroreningar och underlättar underhåll.

Viktigt att tänka på vid konstruktion är att mer komplexa former där ytor är "skuggade" kan vara svåra att behandla med jämnt och bra resultat. Processen kräver att elektriska kontakten under processen är god. Ange gärna ytor för kontaktering. Metoden innebär att material avverkas från ytan vilket måste beaktas för detaljer med snäva toleranser, upp till 0,05 mm per yta och ibland ännu mer kan förekomma. Om detaljen är svetsad är det viktigt att svetsen är utförd med samma materialkvalitet och är helt tät.

Tillämpliga normer:	SS-EN	Ingen svensk eller europeisk standard fastställd för elektrolytpolering av rostfritt stål för allmänna tillämpningar
	SS-EN 3769	Electrolytic polishing of corrosion resisting steels and heat resisting alloys (Flygtillämpningar)
	ISO 15730	Electropolishing as a Means of Smoothing and Passivating Stainless Steels



Flakes

"Flakes" (eller zinkflakes) är samlingsnamnet på beläggningar bestående av ett organiskt bindemedelsskikt i vilket man blandat in zink- och aluminiumflingor. Beläggningen ger bra korrosionsskydd även i svårare miljöer och används exempelvis på fästelement och beslag i fordonschassin och i marina miljöer.

Tillämpningar:

- + Korrosionsskydd:
 - Gott korrosionsskydd vid tunna skikt (<8 µm).
 - Beständighet mot många kemikalier.
 - Ger ej upphov till galvanisk korrosion mot aluminium.
- + Dekorativt, finns dock vanligen endast i kulörerna "silver" och svart.
- + Höghållfas stål kan beläggas, liten risk för väteförspredning.
- + Friktionskontroll, låg och jämn friktion kan erhållas med topcoat.

Beläggningen kan appliceras genom dip-spinn på massgods som fästelement eller liknande, som spinn-coating på medelstora detaljer samt som dopp eller spraybeläggning på hänggods. Då processen ej ger upphov till väteförspredning lämpar den sig för beläggning på höghållfasta material och säkerhetsdetaljer. Ståldetaljer som belagts orsakar ej heller galvanisk korrosion i kontakt med aluminium. Temperatur användningsområdet är vanligen <+200°C då det begränsas av vilket bindemedel som används. Vissa beläggningsvarianter är utvecklade för att ge kontrollerad friktionskoefficient, då vanligen låg för beläggning av gängade detaljer. De vanligaste förekommande kulörerna är silverfärgad eller svart.

Tillämpliga normer:	SS-EN 13858	Zinkflagebeläggning på järn- och ståldetaljer
	EN ISO 10683	Fästelement – Icke elektrolytiska ytbeläggningar med zinkflagor (enelska utgåvan: "Fasteners – Non-electrolytically applied zinc flake coatings")
	ASTM F3019/ F3019M	Standard Specification for Chromium Free Zinc-Flake Composite, with or without Integral Lubricant, Corrosion Protective Coatings for Fasteners



Fosfatering

Fosfatering är en s.k. ytomvandlingsprocess för behandling av stål, förzinkat stål eller aluminium. Metoden ger en svårlöslig, kristallin beläggning med skyddande egenskaper. Processerna är företrädesvis baserade på en sur fosfatlösning med zink, järn eller mangan samt kombination mellan dem. Metoden används inom många olika industriområden.

Tillämpningar:

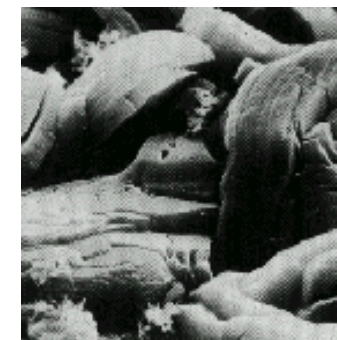
- ✚ Korrosionsskydd:
Underlag för lackering för detaljer som utsätts för stora korrosionspåfrestningar samt underlag för rostskyddsoljor och vaxer på t.ex. verktyg och detaljer i vapen eller andra mekanismer. Sammansatta komponenter av t.ex. stål och aluminium kan fosfateras samtidigt.
- ✚ Dragning av tråd, stång och rör samt djupdragning av plåt.
Fosfatering minskar friktionen och medger därför större reduktionsgrad eller djupare dragning av plåtdetaljer.
- ✚ Förbättring av glidegenskaper.
Fosfatering förbättrar nötningsståligheten, förhindrar mikrosvetsning och fungerar som inslitningsskydd och smörjfilmsbärare.

De viktigaste processerna för lackeringsunderlag är zinkfosfatering och järnfosfatering. Mangan och zink-manganfosfat används primärt som inslitningsskydd, smörjmedelsbärare och för att minska friktionen.

Zinkfosfatering

Järn och stål, förzinkat stål och aluminium kan behandlas. I vissa processer kan konstruktioner sammansatta av olika material beläggas. Processen kan göras genom doppning i eller sprutning med fosfateringslösning. Behandlingstid vid doppförfarande kan variera mellan 3 och 20 minuter medan tiden vid sprutning endast är 1 till 3 minuter.

Bilderna visar utseendet av zinkfosfateringsskikt i hög förstoring tagna med svepelektronmikroskopibild (SEM).



Järnfosfatering

Användningsområdet för processen är främst som förbehandling före lackering för att säkerställa vidhäftning och när den innehåller vätmedel många gånger även som en kombinerad avfettnings- och fosfateringsprocess. Då skiktet är tunnare och slätare än zinkfosfatskikt kan man vanligen uppnå bättre finish med tunna lackskikt dock på bekostnad av korrosionsskyddsförmågan. Även förzinkade ytor kan behandlas.

Tabellen nedan jämför zink- och järnfosfatering:

	Zinkfosfatering	Alkalisk järnfosfatering
Skiktets sammansättning	Zinkfosfat	Järnfosfat Järnoxid
Skiktvtikt	1-3,5 g/m ²	0,3-1,2 g/m ²
Korrosionsskydd	Gott	Dåligt
Vidhäftning	Mindre god	God
Appliceringsprocess	Doppning, spray	Spray

Manganfosfatering

Skikten används förutom som underlag för organiska skikt ofta för glidytor för att minska risken för skärning, t.ex. i lagerringar eller hållringar i kul- och rullager samt som inslitningsskydd i grövre maskinkonstruktioner. Mängden skikt som bildas beror av förbehandling och badsammansättning och kan normalt vara 2 till 20 g/m² vilket motsvarar 1,5 – 8 µm, skittjocklekar på 20 µm och däröver kan även förekomma. Många gånger innehåller manganfosfatprocessen även viss mängd zink. För att få finkorniga och kvalitativt bättre skikt används ofta förbehandling i bad innehållande titanater (aktivering) för att skapa många kärnbildningspunkter och därmed finkornigare skikt. Processen arbetar vid hög temperatur, 80°C, varför endast doppförfarande förekommer. Fosfateringslösningen består huvudsakligen av fri fosforsyra, manganfosfat, nickel samt nitrat. Det finns även nya processer fria från nickel då krav på detta kommit genom nickeldirektivet.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO 9717 Fosfatering (ISO 9717, engelskspråkig)
 SS-EN 12476 Fosfatering av metaller – Metod att specificera krav (Upphävd och ersatt av ovan)



Förgyllning

Guld är den mest ädla av alla metaller och därför den enda som förekommer som ren metall i naturen. Guld oxiderar därför inte utan bibehåller sitt utseende och är dessutom tydligt färgad vilket gjort den till den mest eftertraktade metallen för smycken etc. (Förutom guld är det endast koppar som har tydlig färg.) Avsaknaden av oxid gör även att den lämpar sig utmärkt som kontaktyta vid elektrisk överföring samt som reflektor för strålning.

Tillämpningar:

- ✚ Dekorativt:
 - ◇ Smycken och prydnadsföremål.
 - ◇ Glasögonbågar, boetter, pennor, bestick etc.
- ✚ Elöverföring:
 - ◇ Kontaktdon och fjädrar för elektrisk överföring i enklare applikationer, skiktjocklek vanligen < 1 µm.
 - ◇ Kontaktdon i korrosiv miljö eller för högre strömstyrkor, skiktjocklek > 3 µm.
- ✚ Korrosionsskydd:
 - ◇ I processkärl etc. inom kemisk och farmaceutisk industri.
- ✚ IR-reflektion:
 - ◇ IR-speglar i teknisk utrustning.
 - ◇ I avancerad utrustning för torkning med IR-strålning.

Guldbeläggningar är i allmänhet 0,2 till 3 µm tjocka, för applikationer med högre påkänningar från korrosion eller nötning kan dock tjockare skikt förekomma. Guldbeläggningen görs vanligen på ett underliggande skikt av höggilansnickel. Då beläggningen görs på koppar och kopparlegeringar förhindrar det att koppar och andra legeringsämnen diffunderar ut i guldsiktet och försämrar dess egenskaper. Det utgör även ett spärrskikt som minskar risken för basmetallkorrosion och att korrosionsprodukter "läcker" ut genom sprickor och porer i det tunna guldsiktet. Korrosionsprodukter kan avsevärt försämma kontaktegenskaperna hos ytan och givetvis även missfärga den. För att få bästa effekt bör även basmaterialet ha god ytfinhet, gärna vara elektrolytpolerat. Av olika orsaker kan guldbeläggningen legeras med andra metaller. Genom legering med låga halter av nickel eller kobolt erhålls en beläggning med väsentligt bättre nötningsbeständighet, s.k. hårdguld, som är vanligt på elektriska kontakter. Vitguld är en legering av guld med högre halt av nickel (och/eller palladium). Genom legering av guld med koppar, silver och andra ädla metaller kan många färgschatteringar erhållas som särskilt används i smyckeindustrin. Färgpaletten går från gulgrönt, ljusgult, gult, rosa till rött.

Tillämpliga normer:	SS-EN	Inga nu gällande normer
	SS-ISO 4523	Elektrolytiska beläggningar av guld och guldlegeringar för tekniska ändamål (upphävd)
	ASTM B488	Standard Specification for Electrodeposited Gold for Engineering Uses



Förkoppling

Förkoppling kan ske i ett flertal processvarianter som ger beläggningar med olika egenskaper avseende glans, spridning, ytutjämnning och fysikaliska egenskaper som duktilitet och hårdhet. Detta tillsammans med koppars goda ledningsförmåga för el och värme gör att kopparbeläggning används inom ett stort antal områden.

Tillämpningar:

- ✚ Bas- eller mellanbeläggning för andra elektrolytiska metallbeläggningar.
 - ◇ För att möjliggöra och/eller få god vidhäftning på gjutgods, zink och magnesium, aluminium och deras legeringar.
 - ◇ Som diffusionsspärr mellan zink och nickelskikt för att förhindra avflagnig.
 - ◇ Som elektriskt ledande skikt på icke ledande material vid elektrolytisk metallbeläggning på plast och keramiska material.
- ✚ Dekorativt.
 - ◇ Armaturer och prydnadsföremål för utomhusbruk, oftast då med efterbehandling för att ges patina med antik bronsfärg eller grönt ärgat utseende.
 - ◇ Smycken, bijouterier, knappar och spännen etc.
- ✚ Funktionellt.
 - ◇ Som ledande skikt på mönsterkort.
 - ◇ Som ledande ytskikt på t.ex. chassin av aluminiumgjutgods för elektronik (filter för mobiltelefoninät etc.).
 - ◇ Som torrsmörjmedel vid tråddragning och kallformning av plåt (djupdragning).
 - ◇ Som maskering vid sätthårdning eller nitrering av stål.

Det förekommer både sura och alkaliska cyanidbaserade bad. De sistnämnda används nästan uteslutande som basbeläggning för att möjliggöra metallbeläggning av pressguten zink och magnesium. Utvecklingsarbete bedrivs även med alkaliskt cyanidfria kopparbad. Inom verkstadsindustrin har förkoppling sin största betydelse som mellanskikt i olika kombinationsbeläggningar för att förbättra vidhäftning eller skiktcombinationens fysikaliska egenskaper.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO Inga specifika normer för enskild kopparbeläggning, se SS-EN ISO 1456 för dekorativt koppar plus nickel plus krom
 ASTM B734 Standard Specification for Electrodeposited Copper for Engineering Uses



”Förkromning” — Dekorativ nickel plus krombeläggning

Krom är elektrokemiskt en relativt oädel metall, placerad mellan järn och zink i spänningsserien. Genom att kromytan passiveras så fort den exponeras i luft uppträder den dock, på samma sätt som t.ex. titan, betydligt ädlare, mellan koppar och silver. Oxidfilmen är tät, mycket tunn och transparent vilket gör att kromskiktet behåller sin blåskimrande metallglans även vid exponering i korrosiv miljö eller vid högre temperaturer. Vad som allmänt benämns som förkromning för dekorativ metallblank beläggning är dock vanligen en kombinationsbeläggning av ett tjockare nickelskikt med ett tunt toppskikt av krom, < 1 µm. För applikationer i svårare miljö kan även koppar plus nickel plus krom förekomma. Det underliggande metallskiktet kan vara en kombination av olika typer av nickel, och eventuellt även koppar, vilket utgör det egentliga skyddet mot korrosion. Även glansen hos beläggningen erhålls genom ett glans- eller högglansnickelskikt under kromskiktet. Matt-, halvmatt- och satinkrom får man genom förkromning på ett underliggande skikt av matt-, halvmatt-, eller satinnickel.

Tillämpningar:

- + Dekorativt och som
- + Korrosionsskydd inom ett stort antal områden som:
 - ◇ Bilindustri.
 - ◇ Cyklar, sport- och fritidsartiklar.
 - ◇ Hushålls- och kontorsmaskiner.
 - ◇ Möbel- och kontorsinredning.
 - ◇ VVS-industri.
 - ◇ Belysnings- och elindustrin.
 - ◇ Finmekanik, optik och kameror.
 - ◇ Klockor.
 - ◇ Medicinsk utrustning.



Reflektionsförmågan hos krombeläggning är ca 65 % och därmed något bättre än glansnickels 55 %. Eftersom kromytan därtill är anlöpningsbeständig, i motsats till nickel och flertalet andra metaller, behålls också glansen vid daglig användning under mycket lång tid. Dessa egenskaper har medfört att krom användes som täcksikt i systemet koppar-nickel-krom. Kromskiktet skyddar mot nötning och ger en ytan ett tilltalande, blankt och dekorativt utseende som därtill är lätt att underhålla och rengöra. Emellertid är inte kromskiktet i sig själv blankt, utan är beroende av underskiktets glans. Om skiktjockleken överskrider 0,3 µm så börjar glansen från det underliggande nickelskiktet att avta. Därför begränsas kromskiktets tjocklek oftast till max 0,8 µm.

Beläggningskombinationen

Genom att kombinera beläggningar med olika egenskaper avseende korrosion, utseende och hårdhet samt andra mekaniska egenskaper kan beläggningen ge ett mycket gott skydd mot hård påfrestning i form av korrosion och nötning och ger därtill ytan ett tilltalande, dekorativt utseende.

Den totala tjockleken hos skiktssystemet ligger i området 10 – 50 µm, helt beroende av basmaterial och korrosionspåkänningar. Tjockleken hos de enskilda skikten är för koppar 5 – 25 och för nickel 5 – 30 µm. För kromskiktet däremot är en tjocklek på 0,2 till 0,8 µm fullt tillräcklig. Det förekommer även många tillämpningar där man använder skiktssystem utan koppar t.ex. nickel-krom, dubbelnickel-krom eller enbart nickel utan efterföljande förkromning.

Material som beläggs

Förnickling kan utföras på olika substratmaterial, de vanligaste är stål, kopparlegeringar och zinklegeringar. I det senare fallet används alltid ett underskikt av koppar. Vid stålförnickling var tidigare också underskikt av koppar vanliga, men numera läggs i regel nickelskikt direkt på stålytan om inte ett extremt gott korrosionsskydd efterfrågas.

Förnickling av koppar och kopparrika Cu-legeringar kan ske direkt på substratytan. Vid förnickling av mässinglegeringar med mer än 39 % Zn (s.k. α/β -mässing) är det dock nödvändigt att först lägga ett underskikt av koppar.

Förnickling av rostfritt stål, aluminium, magnesium samt av vissa plaster kräver speciella förbehandlingsmetoder. Bland plaster är ABS den bäst lämpade men även polypropylen, polykarbonater, polyester och polyuretan etc. kan idag beläggas elektrolytiskt. Den elektrolytiska metallbeläggningens kräver att den yta som skall beläggas måste vara elektriskt ledande, alltså vara av metallisk natur. Plaster erhåller därför först ett tunt, ledande metallskikt av koppar eller nickel genom ej elektrolytisk kemisk beläggning. Med liknande teknik kan även keramiska material beläggas.

Olika typer av förnicklingsprocesser

Förnicklingsmetoder började utvecklas redan i mitten på 1800-talet medan den kommersiella glansfornicklingen introducerades år 1927. Utvecklingen av glansfornicklingsbad var av stor ekonomisk betydelse eftersom de kunde reducera eller eliminera de mycket höga kostnaderna för manuell, mekanisk polering. Genom tillsatser för att erhålla glans eller ytutjämnande egenskaper hos beläggningen påverkas även skiktets elektrokemiska, d.v.s. korrosions-, egenskaper. Tillsatserna gör ofta skiktet mindre ädelt.

Av stor betydelse är oftast korrosionsbeständigheten hos nickelskikten. Deras mekaniska egenskaper bidrar till att skiktssystemet under statisk eller dynamisk belastning förblir oskadat så länge som möjligt så att de korrosionsskyddande egenskaperna hos nickelskiktet förblir verksamma. Principiellt gäller att ju tjockare nickelskikt, desto bättre korrosionsskydd. För de högsta kraven användes dubbelnickelskikt eller t.o.m. trippelskikt. I dessa fall har det första, ädlare halvglansnickelskiktet uppgiften som korrosionsbarriär, medan nästa skikt, det mindre ädla glansnickelskiktet, primärt har uppgiften att klara kraven på god finish. För mer information om de olika typerna av nickelskikt, se resp avsnitt för förnickling, **halvglansnickel**, **glansnickel**, **duplex- och trippelfornickling** samt **sammet-, satin- och halvmatt nickel**.

Svartkrom

Förutom det vanliga, blå-vita kromskiktet använder man även svartkrom som avslutning på skiktssystemet koppar-nickel-krom. Detta utfälls i speciellt utvecklade elektrolyter med en tjocklek på 0,5 – 2,0 μm .





Rekommendationer för val av skiktssystem

ISO, den internationella standardorganisationen, har definierat fyra miljöklasser, enligt tabellen nedan, som används inom galvanotekniken (färgade rader med svensk översättning). Vilken korrosionsklass som skall tillämpas överenskommes mellan kund och ytbehandlingsföretag.

Klass	Påkänning	Exempel på miljö
1	Mild	Service indoors in warm dry atmospheres, e.g. offices
	Mild	Inomhus i varm torr atmosfär, t.ex. kontor
2	Moderate	Service indoors where condensation may occur, e.g. bathroom, kitchens
	Måttlig	Inomhus där kondens kan förekomma, t.ex. badrum, kök
3	Severe	Service outdoors where occasional or frequent wetting by rain or dew may occur, e.g. outdoor furniture: bicycles, hospital goods.
	Svår	Utomhus där fukt från regn eller dagg tillfälligt eller frekvent kan förekomma, utomhusmöbler, cyklar, sjukhusartiklar
4	Very severe	Service outdoors in very severe conditions, e.g. components of automobiles, boat fittings
	Mycket svår	Utomhus under svåra förhållanden, t.ex. utsatta bildelar, båtbeslag
5	Exceptionally severe	Service outdoors in exceptionally severe conditions where long-time protection, such as longer than about 10 years, of the substrate is required, e.g. vehicle components: bumpers, wheels.
	Extremt svår	Utomhus under extremt svåra förhållanden då långtidsskydd (> 10 år) för basmaterialet efterfrågas, t.ex. bil-stötfångare, -hjul

I samma standard finns även rekommendationer för val av skiktssystem på olika substrat för användning inom de olika miljöklasserna samt hur dessa skall benämnas.

Substrat som skall beläggas benämns:

-  Fe/ för järn eller stål.
-  Zn/ för zinklegeringar.
-  Cu/ för koppar och kopparlegeringar.
-  Al/ för aluminium och aluminiumlegeringar.

Skiktssystem som skall användas benämns med kemiska beteckningen för resp. metall i beläggningen direkt åtföljd av skiktjockleken i μm . En bokstav efter resp. metall anger vilken typ av beläggning som skall användas, se nedan (dock något förenklad översättning där vissa speciella varianter ej beskrivs, för korrekt information – se ISO 1456).

- ✚ a för duktilt ytutjämnande koppar från sur elektrolyt.

- ✚ b för dekorativt, svavelinnehållande glans-, halvglans eller satin nickel med lamellär struktur.
- ✚ i för dekorativt glans-, halvglans eller matt nickel med högre svavelhalt och lamellär struktur som ej har mekaniskt polerats.
- ✚ p för matt- eller halvglansnickel som har mekaniskt polerats.
- ✚ s för svavelfritt matt- eller halvglansnickel med kolumnär struktur som ej har mekaniskt polerats.
- ✚ d för dubbel- eller trippelnickel.

- ✚ b för svartkrom med skiktjocklek 0,5 – 2 μm .
- ✚ r för konventionellt dekorativt krom med minimum 0,3 μm lokal skiktjocklek.
- ✚ mc för mikrosprucken krom med mer än 200 sprickor per centimeter.
- ✚ mp för mikroporöst krom med mer än 10.000 porer per cm^2 .

Exempel

Beläggning på stål med min. 20 μm duktilt ytutjämnande koppar plus min. 30 μm glansnickel plus 0,3 μm mikrosprucken krom benämns:

Electroplated coating ISO 1456 — Fe/Cu20a/Ni30b/Cr_{mc}

I benämningen kan även ingå information om spänningsreducerande värmebehandling (SR) före eller väteutdrivning (ER) efter beläggning åtföljt av min. temperatur ($^{\circ}\text{C}$) och varaktighet i timmar (h):

Beläggning på stål med avspänning före beläggning vid 200 $^{\circ}\text{C}$, 3 timmar och väteutdrivning efter vid 210 $^{\circ}\text{C}$, 8 timmar kan då benämnas:

Electrodeposited coating ISO 1456 – Fe/SR(200)3/Ni30b/ER(210)8/Cr_{mc}

Tabellerna nedan visar rekommendationerna enligt ISO 1456.

Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 1, Mild påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Fe/Ni10p	Fe/Cu10a/Ni5p	Fe/Ni10p/Crr Fe/Ni10p/Crmc Fe/Ni10p/Crmp Fe/Ni10p/Crb	Fe/Cu10a/Ni5p/Crr Fe/Cu10a/Ni5p/Crmc Fe/Cu10a/Ni5p/Crmp Fe/Cu10a/Ni5p/Crb
Fe/Ni10s	Fe/Cu10a/Ni5s	Fe/Ni10s/Crr Fe/Ni10s/Crmc Fe/Ni10s/Crmp Fe/Ni10s/Crb	Fe/Cu10a/Ni5s/Crr Fe/Cu10a/Ni5s/Crmc Fe/Cu10a/Ni5s/Crmp Fe/Cu10a/Ni5s/Crb
Fe/Ni10b	Fe/Cu10a/Ni5b	Fe/Ni10b/Crr Fe/Ni10b/Crmc Fe/Ni10b/Crmp Fe/Ni10b/Crb	Fe/Cu10a/Ni5b/Crr Fe/Cu10a/Ni5b/Crmc Fe/Cu10a/Ni5b/Crmp Fe/Cu10a/Ni5b/Crb
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 2, Måttlig påkänning			
Fe/Ni20p	Fe/Cu15a/Ni15p	Fe/Ni20p/Crr Fe/Ni15p/Crmc Fe/Ni15p/Crmp Fe/Ni15p/Crb	Fe/Cu15a/Ni15p/Crr Fe/Cu15a/Ni10p/Crmc Fe/Cu15a/Ni10p/Crmp Fe/Cu15a/Ni10p/Crb
Fe/Ni20s	Fe/Cu15a/Ni15s	Fe/Ni20s/Crr Fe/Ni15s/Crmc Fe/Ni15s/Crmp Fe/Ni15s/Crb	Fe/Cu15a/Ni15s/Crr Fe/Cu15a/Ni10s/Crmc Fe/Cu15a/Ni10s/Crmp Fe/Cu15a/Ni10s/Crb
Fe/Ni20b	Fe/Cu15a/Ni15b	Fe/Ni20b/Crr Fe/Ni15b/Crmc Fe/Ni15b/Crmp Fe/Ni15b/Crb	Fe/Cu15a/Ni15b/Crr Fe/Cu15a/Ni10b/Crmc Fe/Cu15a/Ni10b/Crmp Fe/Cu15a/Ni10b/Crb
Fe/Ni20d	Fe/Cu15a/Ni15d	Fe/Ni20d/Crr Fe/Ni15d/Crmc Fe/Ni15d/Crmp Fe/Ni15d/Crb	Fe/Cu15a/Ni15d/Crr Fe/Cu15a/Ni10d/Crmc Fe/Cu15a/Ni10d/Crmp Fe/Cu15a/Ni10d/Crb



Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 3, Svår påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Fe/Ni35p	Fe/Cu15a/Ni25p	Fe/Ni35p/Crr Fe/Ni30p/Crmmc Fe/Ni30p/Crmp Fe/Ni30p/Crb	Fe/Cu15a/Ni30p/Crr Fe/Cu15a/Ni25p/Crmmc Fe/Cu15a/Ni25p/Crmp Fe/Cu15a/Ni25p/Crb
Fe/Ni35s	Fe/Cu15a/Ni25s	Fe/Ni35s/Crr Fe/Ni30s/Crmmc Fe/Ni30s/Crmp Fe/Ni30s/Crb	Fe/Cu15a/Ni30s/Crr Fe/Cu15a/Ni25s/Crmp Fe/Cu15a/Ni25s/Crmp Fe/Cu15a/Ni25s/Crb
Fe/Ni35b	Fe/Cu15a/Ni25b	Fe/Ni35b/Crr Fe/Ni30b/Crmmc Fe/Ni30b/Crmp Fe/Ni30b/Crb	Fe/Cu15a/Ni30b/Crr Fe/Cu15a/Ni25b/Crmmc Fe/Cu15a/Ni25b/Crmp Fe/Cu15a/Ni25b/Crb
Fe/Ni30d	Fe/Cu15a/Ni20d	Fe/Ni30d/Crr Fe/Ni25d/Crmmc Fe/Ni25d/Crmp Fe/Ni25d/Crb	Fe/Cu15a/Ni25d/Crr Fe/Cu15a/Ni20d/Crmmc Fe/Cu15a/Ni20d/Crmp Fe/Cu15a/Ni20d/Crb
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 4, Mycket svår påkänning			
		Fe/Ni40p/Crr Fe/Ni30p/Crmmc Fe/Ni30p/Crmp Fe/Ni30p/Crb	Fe/Cu20a/Ni35p/Crr Fe/Cu20a/Ni25p/Crmmc Fe/Cu20a/Ni25p/Crmp Fe/Cu20a/Ni25p/Crb
		Fe/Ni40s/Crr Fe/Ni30s/Crmmc Fe/Ni30s/Crmp Fe/Ni30s/Crb	Fe/Cu20a/Ni35s/Crr Fe/Cu20a/Ni25s/Crmmc Fe/Cu20a/Ni25s/Crmp Fe/Cu20a/Ni25s/Crb
		Fe/Ni40b/Crr Fe/Ni30b/Crmmc Fe/Ni30b/Crmp Fe/Ni30b/Crb	Fe/Cu20a/Ni35b/Crr Fe/Cu20a/Ni25b/Crmmc Fe/Cu20a/Ni25b/Crmp Fe/Cu20a/Ni25b/Crb
		Fe/Ni35d/Crr Fe/Ni25d/Crmmc Fe/Ni25d/Crmp Fe/Ni25d/Crb	Fe/Cu20a/Ni30d/Crr Fe/Cu20a/Ni20d/Crmmc Fe/Cu20a/Ni20d/Crmp Fe/Cu20a/Ni20d/Crb
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 5, Extremt svår påkänning			
		Fe/Ni45d/Crmmc Fe/Ni45d/Crmp	Fe/Cu25a/Ni35d/Crmmc Fe/Cu25a/Ni35d/Crmp



Beläggning på zinklegeringar för applikationer i miljöklass 1, Mild påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Zn/Ni10p	Zn/Cu10a/Ni10p	Zn/Ni10p/Crr Zn/Ni10p/Crmc Zn/Ni10p/Crmp Zn/Ni10p/Crb	Zn/Cu8a/Ni10p/Crr Zn/Cu8a/Ni10p/Crmc Zn/Cu8a/Ni10p/Crmp Zn/Cu8a/Ni10p/Crb
Zn/Ni10s	Zn/Cu10a/Ni10s	Zn/Ni10s/Crr Zn/Ni10s/Crmc Zn/Ni10s/Crmp Zn/Ni10s/Crb	Zn/Cu8a/Ni10s/Crr Zn/Cu8a/Ni10s/Crmc Zn/Cu8a/Ni10s/Crmp Zn/Cu8a/Ni10s/Crb
Zn/Ni10b	Zn/Cu10a/Ni10b	Zn/Ni10b/Crr Zn/Ni10b/Crmc Zn/Ni10b/Crmp Zn/Ni10b/Crb Zn/Ni10d/Crr Zn/Ni10dCrmc Zn/Ni10d/Crmp Zn/Ni10d/Crb	Zn/Cu8a/Ni10b/Crr Zn/Cu8a/Ni10b/Crmc Zn/Cu8a/Ni10b/Crmp Zn/Cu8a/Ni10b/Crb Zn/Cu8a/Ni10d/Crr Zn/Cu8a/Ni10d/Crmc Zn/Cu8a/Ni10d/Crmp Zn/Cu8a/Ni10d/Crb
Beläggning på zinklegeringar för applikationer i miljöklass 2, Måttlig påkänning			
Zn/Ni20p	Zn/Cu15a/Ni15p	Zn/Ni20p/Crr Zn/Ni15p/Crmc Zn/Ni15p/Crmp Zn/Ni15p/Crb	Zn/Cu15a/Ni15p/Crr Zn/Cu15a/Ni10p/Crmc Zn/Cu15a/Ni10p/Crmp Zn/Cu15a/Ni10p/Crb
Zn/Ni20b	Zn/Cu15a/Ni15b	Zn/Ni20b/Crr Zn/Ni15b/Crmc Zn/Ni15b/Crmp Zn/Ni15b/Crb	Zn/Cu15a/Ni15/Crr Zn/Cu15a/Ni10b/Crmc Zn/Cu15a/Ni10b/Crmp Zn/Cu15a/Ni10b/Crb
Zn/Ni20s	Zn/Cu15a/Ni15s	Zn/Ni20s/Crr Zn/Ni15s/Crmc Zn/Ni15s/Crmp Zn/Ni15s/Crb	Zn/Cu15a/Ni15s/Crr Zn/Cu15a/Ni10s/Crmc Zn/Cu15a/Ni10s/Crmp Zn/Cu15a/Ni10s/Crb
Zn/Ni15d	Zn/Cu15a/Ni10d	Zn/Ni20d/Crr Zn/Ni15d/Crmc Zn/Ni15d/Crmp Zn/Ni15d/Crb	Zn/Cu15a/Ni15d/Crr Zn/Cu15a/Ni10d/Crmc Zn/Cu15a/Ni10d/Crmp Zn/Cu15a/Ni10d/Crb



Beläggning på zinklegeringar för applikationer i miljöklass 3, Svår påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Zn/Ni40p	Zn/Cu20a/Ni30p	Zn/Ni35p/Crr Zn/Ni30p/Crmmc Zn/Ni30p/Crmp Zn/Ni30p/Crb	Zn/Cu20a/Ni30p/Crr Zn/Cu20a/Ni25p/Crmmc Zn/Cu20a/Ni25p/Crmp Zn/Cu20a/Ni25p/Crb
Zn/Ni40s	Zn/Cu20a/Ni30s	Zn/Ni35s/Crr Zn/Ni30s/Crmmc Zn/Ni30s/Crmp Zn/Ni30s/Crb	Zn/Cu20a/Ni30s/Crr Zn/Cu20a/Ni25s/Crmmc Zn/Cu20a/Ni25s/Crmp Zn/Cu20a/Ni25s/Crb
Zn/Ni40b	Zn/Cu20a/Ni30b	Zn/Ni35b/Crr Zn/Ni30b/Crmmc Zn/Ni30b/Crmp Zn/Ni30b/Crb	Zn/Cu20a/Ni30b/Crr Zn/Cu20a/Ni25b/Crmmc Zn/Cu20a/Ni25b/Crmp Zn/Cu20a/Ni25b/Crb
Zn/Ni30d	Zn/Cu20a/Ni25d	Zn/Ni30d/Crr Zn/Ni25d/Crmmc Zn/Ni25d/Crmp Zn/Ni25d/Crb	Zn/Cu20a/Ni25d/Crr Zn/Cu20a/Ni20d/Crmmc Zn/Cu20a/Ni20d/Crmp Zn/Cu20a/Ni20d/Crb
Beläggning på zinklegeringar för applikationer i miljöklass 4, Mycket svår påkänning			
		Zn/Ni40p/Crr Zn/Ni35p/Crmmc Zn/Ni35p/Crmp Zn/Ni35p/Crb	Zn/Cu20a/Ni35p/Crr Zn/Cu20a/Ni30p/Crmmc Zn/Cu20a/Ni30p/Crmp Zn/Cu20a/Ni30p/Crb
		Zn/Ni40s/Crr Zn/Ni35s/Crmmc Zn/Ni35s/Crmp Zn/Ni35s/Crb	Zn/Cu20a/Ni35s/Crr Zn/Cu20a/Ni30s/Crmmc Zn/Cu20a/Ni30s/Crmp Zn/Cu20a/Ni30s/Crb
		Zn/Ni40b/Crr Zn/Ni35b/Crmmc Zn/Ni35b/Crmp Zn/Ni35b/Crb	Zn/Cu20a/Ni35b/Crr Zn/Cu20a/Ni30b/Crmmc Zn/Cu20a/Ni30b/Crmp Zn/Cu20a/Ni30b/Crb
		Zn/Ni35d/Crr Zn/Ni30d/Crmmc Zn/Ni30d/Crmp Zn/Ni30d/Crb	Zn/Cu20a/Ni30d/Crr Zn/Cu20a/Ni25d/Crmmc Zn/Cu20a/Ni25d/Crmp Zn/Cu20a/Ni25d/Crb
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 5, Extremt svår påkänning			
		Zn/Ni45d/Crmmc Zn/Ni45d/Crmp	Zn/Cu25a/Ni35d/Crmmc Zn/Cu25a/Ni35d/Crmp

F

Beläggning på koppar och kopparlegeringar för applikationer i miljöklass 1, Mild påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Cu/Ni8s		Cu/Ni8s/Crr Cu/Ni8s/Crb	
Cu/Ni8b		Cu/Ni8b/Crr Cu/Ni8b/Crb	
Beläggning på koppar och kopparlegeringar för applikationer i miljöklass 2, Måttlig påkänning			
Cu/Ni15p		Cu/Ni12p/Crr Cu/Ni10p/Crmc Cu/Ni10p/Crmp Cu/Ni10p/Crb	
Cu/Ni15s		Cu/Ni12s/Crr Cu/Ni10s/Crmc Cu/Ni10s/Crmp Cu/Ni10s/Crb	
Cu/Ni15b		Cu/Ni12b/Crr Cu/Ni10b/Crmc Cu/Ni10b/Crmp Cu/Ni10b/Crb	
Beläggning på koppar och kopparlegeringar för applikationer i miljöklass 3, Svår påkänning			
Cu/Ni25p		Cu/Ni20p/Crr Cu/Ni15p/Crmc Cu/Ni15p/Crmp Cu/Ni15p/Crb	
Cu/Ni25s		Cu/Ni20s/Crr Cu/Ni15s/Crmc Cu/Ni15s/Crmp Cu/Ni15s/Crb	
Cu/Ni25b		Cu/Ni20b/Crr Cu/Ni15b/Crmc Cu/Ni15b/Crmp Cu/Ni15b/Crb	
Cu/Ni20d		Cu/Ni15d/Crr Cu/Ni12d/Crmc Cu/Ni12d/Crmp Cu/Ni12d/Crb	



Beläggning på koppar och kopparlegeringar för applikationer i miljöklass 4, Mycket svår påkänning**Ni****Cu + Ni****Ni + Cr****Cu + Ni + Cr**

Cu/Ni30p/Crr
 Cu/Ni25p/Crmc
 Cu/Ni25p/Crmp
 Cu/Ni25p/Crb

Cu/Ni30s/Crr
 Cu/Ni25s/Crmc
 Cu/Ni25s/Crmp
 Cu/Ni25s/Crb

Cu/Ni30b/Crr
Cu/Ni25b/Crmc
Cu/Ni25b/Crmp
Cu/Ni25b/Crb

Cu/Ni25d/Crr
 Cu/Ni20d/Crmc
 Cu/Ni20d/Crmp
 Cu/Ni20d/Crb

Beläggning på koppar och kopparlegeringar för applikationer i miljöklass 5, Extremt svår påkänning

Cu/Ni45d/Crmc
 Cu/Ni45d/Crmp

Beläggning på aluminium och aluminiumlegeringar för applikationer i miljöklass 1, Mild påkänning			
Ni	Cu + Ni	Ni + Cr	Cu + Ni + Cr
Al/Ni10b		Al/Ni10b/Crr	
Beläggning på aluminium och aluminiumlegeringar för applikationer i miljöklass 2, Måttlig påkänning			
Al/Ni25p		Al/Ni25p/Crr Al/Ni20p/Crmc Al/Ni20p/Crmp	
Al/Ni25s		Al/Ni25s/Crr Al/Ni20s/Crmc Al/Ni20s/Crmp	
Al/Ni25b		Al/Ni25b/Crr Al/Ni20b/Crmc Al/Ni20b/Crmp	
Al/Ni20d		Al/Ni20d/Crr Al/Ni15d/Crmc Al/Ni15d/Crmp	
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 3, Svår påkänning			
Al/Ni35p		Al/Ni35p/Crr Al/Ni30p/Crmc Al/Ni30p/Crmp	
Al/Ni35s			
Al/Ni35b		Al/Ni35b/Crr Al/Ni30b/Crmc Al/Ni30b/Crmp	
Al/Ni30d		Al/Ni30d/Crr Al/Ni25d/Crmc Al/Ni25d/Crmp	
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 4, Mycket svår påkänning			
		Al/Ni45d/Crr	
		Al/Ni35d/Crmc	
		Al/Ni35d/Crmp	
Beläggning på järn och stål för applikationer i miljöklass 5, Extremt svår påkänning			
		Al/Ni50d/Crmc	
		Al/Ni50d/Crmp	

F

Tillämpliga normer: SS-EN ISO 1456 Elektrolytiska beläggningar av nickel, nickel plus krom, koppar plus nickel och koppar plus nickel plus krom



Förnickling

Förnickling är efter förzinkning troligen den vanligaste processen för elektrolytisk metallbeläggning. Det finns åtskilliga processvarianter av förnickling, vilket gör det möjligt att erhålla olika skikttegenskaper med avseende på glans, hårdhet, duktilitet och korrosionshårdighet. Förnickling har därför stor betydelse både som funktionell beläggning och som dekorativ och korrosionsskyddande beläggning. För att förhindra att nickelytan oxiderar läggs oftast ett mycket tunt kromskikt på nickelbeläggningen, se vidare avsnittet om **dekorativ nickel plus krombeläggning**.

Tillämpningar:

- ✚ Korrosionsskydd:
 - ◇ Som skiktuppbyggnad för dekorativa skikt, enkel-, dubbel- eller trippelskikt beroende på påkänning.
 - ◇ Tjocka skikt (> 50 µm) för extrema påkänningar inom processindustri och marina applikationer.
- ✚ Dekorativt, glansnickel, satinnickel etc. (ofta med oxidationsskyddande kromskikt) inom:
 - ◇ Bilindustri.
 - ◇ Cyklar, sport- och fritidsartiklar.
 - ◇ Hushålls- och kontorsmaskiner.
 - ◇ Möbel- och kontorsinredning.
 - ◇ VVS-industri.
 - ◇ Belysnings- och elindustrin.
 - ◇ Finmekanik, optik och kameror.
 - ◇ Klockor.
 - ◇ Medicinsk utrustning.
- ✚ Funktionellt
 - ◇ Som barriärskikt och diffusionsspärr under beläggningar med silver, guld eller tenn, primärt på komponenter inom elektronikindustrin.
 - ◇ Reparationsbeläggning:
 - Felbearbetade eller slitna ytor kan återställas.
 - Mjuka material kan förstärkas eller göras styvare.
 - Som matris för komposit- (dispersions-) beläggningar med hårda eller smörjande partiklar.
- ✚ **OBS Nickeldirektivet** (se Reach-förordningen bilaga XVII punkt 27)
 - ◇ Nickelbeläggning får ej användas på produkter som kommer i direkt och långvarig kontakt med huden:
 - Örhängen, halsband, fingerringar, armband och kedjor.
 - Boetter, mobiltelefoner, klockarmband och spännen till armbandsur.
 - Nitlar, knappor, spännen, blixtlås och metallmärken i kläder.
 - Glasögon, skärpspännen, hårspännen och diadem.
 - ◇ Nickeldirektivet omfattar **inte**:
 - Handverktyg, mynt, handtag etc. då det ej är produkter som kommer i direkt och långvarig kontakt med huden.

Olika typer av förnicklingsprocesser

För olika syften finns en stor mängd olika förnicklingsprocesser. För funktionella syften finns mattnickel, hårdnickel och sulfamatnickel. Halvglansnickel ger som namnet antyder förbättring av en ytas glans men har oftast även ytutjämnande tillsatser. Dessa processer är vanligast för dekorativa beläggningar och då ofta med ett yttre kromskikt som oxidationsskydd. Nickelskikt utan efterföljande krombeläggning väljs då nicklets varmare färgton önskas eller då detaljen har så komplex form att den inte kan förkromas med jämnt ytutseende. Andra typer av dekorativa nickelskikt är satinnickel och antrasitnickel samt svartnickel som främst används för optiska ändamål i optik och instrument. Önskar man bländfria skikt eller speciella dekorativa effekter kan mattnickel också användas tillsammans med krom med oförändrade egenskaper beträffande reflektion och korrosionsskydd.

Av stor betydelse är oftast korrosionsbeständigheten hos nickelskikten. Deras mekaniska egenskaper bidrar till att skiktssystemet under statisk eller dynamisk belastning förblir oskadat så länge som möjligt så att de korrosionsskyddande egenskaperna hos nickelskiktet förblir intakta. Principiellt gäller att ju tjockare nickelskikt, desto bättre korrosionsskydd. För de högsta kraven användes dubbelnickelskikt eller t.o.m. trippelskikt. I dessa fall har det första, ädlare halvglansnickelskiktet uppgiften som korrosionsbarriär, medan nästa skikt, det mindre ädla glansnickelskiktet, primärt har uppgiften att klara kraven på god finish. Mer information om de olika typerna av nickelskikt återfinns senare i detta avsnitt.

Kemiska egenskaper

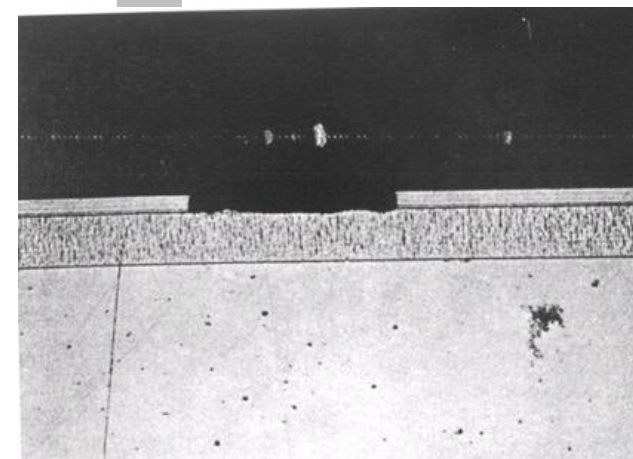
Nickel är beständig i luft men oxiderar och får med tiden ett alltmer mörkt utseende. Av den anledningen brukar man på nickelytan lägga ett tunt skikt av krom (dekorativt krom). Nickel är även beständigt mot starka alkaliska lösningar och angrips sällan med någon större intensitet av starka syror, dock med undantag för salpetersyra där angreppet kan bli ganska häftigt, i synnerhet om syran är varm. Nickel är beständigt mot många metallsaltlösningar, men inte mot t.ex. järn-III-klorid, kopparsalter och kromsyra.

Korrosionsskyddande egenskaper

På basmaterialet stål är nickel ädlare än substratet (katodisk beläggning) vilket ställer stora krav på tillräcklig tjocklek och frihet från porer på korrosionspåverkade detaljer. Har skiktet skador som genomgående repor, sprickor eller porer ger därför skiktet ingen katodisk skyddsverkan. Förnicklingen som korrosionsskydd förutsätter att ett avskärmande skikt, s.k. barriärskikt, hålls intakt.

En utveckling är dubbelskiktsfornickling med ett inre, halvglansskikt och ett yttre glansskikt. Det senare är elektrokemiskt oädlare än halvglansskiktet och utövar en katodisk skyddsverkan, som totalt förstärker korrosionsskyddet. Användning av skiktkombinationer av denna typ kan förstärka förnicklingens ställning som korrosionsskyddande ytbehandling för utomhusändamål.

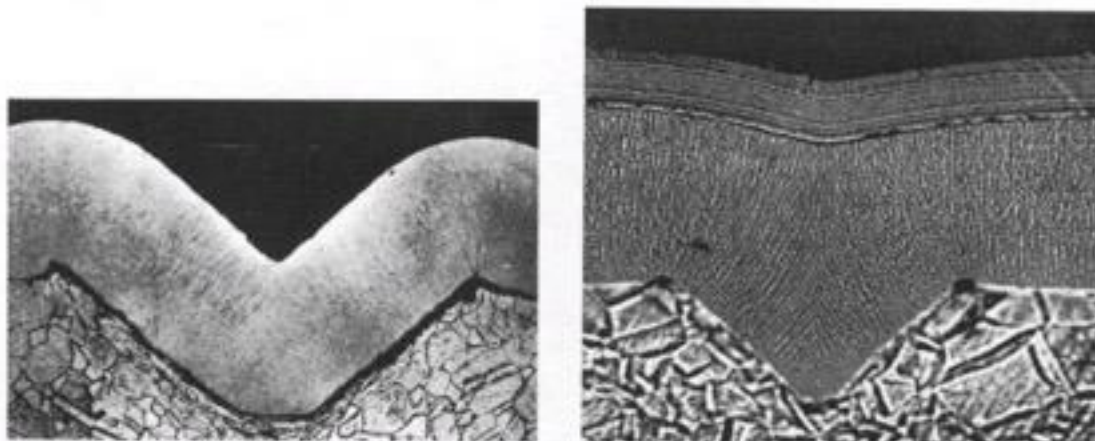
Bilden till höger visar ett snitt genom dubbelnickelskikt på stål med angrepp på övre skiktet efter 24 h provning i sur saltdimma (25 µm halvglansnickel (kolumnärt) och 10 µm glansnickel (lamellärt)).



Duplex- och trippelförnickling

Vid dubbelförnickling kombineras ett halvglansskikt med max 0,005 % S och ett glansskikt med minst 0,04 % S. Det understa skiktet, halvglansskiktet skall ha en skiktjocklek, som utgör minst 60 % av totala skiktjockleken. På yttre skiktet ställs kravet på minst 20 % av totala skiktjockleken. Det svavelhaltiga yttre skiktet blir som ovan nämnts elektrokemiskt oädlare än det svavelfria och kommer därför att utöva en katodisk skyddsverkan i korrosionssituationer. En dubbelförnicklad komponent utmärks därför av en särskilt god korrosionshårdighet.

Bilderna till höger visar snitt genom nickelskikt på stål, den närmast ett halvglansnickelskikt utan ytutjämnning och den till höger dubbelskikt med halvglansnickel med ytutjämnande effekt (kolumnärt) under glansnickel (lamellärt).



Ytterligare förbättring av korrosionshårdigheten kan fås genom utfällning av ett tunt skikt med extra hög S-halt (helst mer än 0,1 %) mellan det inre halvglansskiktet och det yttre glansskiktet. Mellanskiktet får då utgöra högst 10 % av den totala skiktjockleken. Halvglansskiktet skall i detta fall utgöra minst 50 % av totala skiktjockleken.

Sammet-, satin- och halvmatt nickel

Kan erhållas genom mekanisk förbearbetning eller kemisk förbehandling, eller s.k. dispersionsförnickling. Matta och halvmatta nickelskikt används i stor utsträckning funktionellt i skiktjocklekar från 200 µm till 3000 µm och har en hårdhet upp till 250 HV. Detta kallas då ofta för tjockförnickling.

Sulfamatnickel — Hårdnickel

Dessa processer används framför allt för funktionella ändamål, t.ex. lagning av ytor och skiktuppbyggnad samt för extrema korrosionspåkänningar inom processindustri och i marin miljö.

Antrasitnickel

Med en speciell typ av process kan nickelskikt med glänsande antikt utseende

Svartnickel

För optiska och dekorativa syften finns processer som ger svarta nickelskikt. Dekorativa skikt, blanka på ett blankt underlag, matt svarta med mycket låg reflektion på ett matt underlag.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO 4526 Elektrolytiska beläggningar av nickel för tekniska ändamål



Försilvring

Rent silver är har den bästa elektriska ledningsförmågan av alla metaller. Silver är beständigt mot de flesta kemikalier utom vissa starka syror och svavelföreningar. Silver har en vacker vit metallglänsande yta men oxiderar och blir med tiden mörkare, betydligt snabbare i svavelhaltig miljö. För att fördröja detta kan man skydda ytan genom att passivera, klarlackera eller belägga den med ett toppskikt av rodium. Kombinationen av egenskaper silver besitter gör att silverbeläggningar används både för dekorativa och funktionella syften.

Tillämpningar:

- ✚ Elektriska applikationer.
 - ◇ Som elektriskt ledande skikt, vanligt på aluminiumchassin mobila kommunikationssystem.
 - ◇ I elektriska kontakter, lödbart och lågt kontaktmotstånd.
- ✚ Korrosionsskydd i diverse kemisk apparatur.
- ✚ Funktionellt:
 - ◇ Lagermaterial, självsmörjande även vid högre temperaturer.
 - ◇ Torrsmörjmedel på skruvgångor och splines av rostfritt stål eller titan.
- ✚ Dekorativt:
 - ◇ På bestick, brickor och andra hushållsartiklar för mat, ger även en aseptisk yta.
 - ◇ Smycken, bijouterier och prydnadsföremål.

För olika syften finns olika typer av silverprocesser. Stora insatser har gjorts för att utveckla silverbad fria från cyanid, fortfarande innehåller dock de flesta praktiskt fungerande detta. Glanssilverprocesser används företrädesvis för dekorativa syften, tillsatsen av glansbildare påverkar de elektriska och de torrsmörjande egenskaperna negativt. Processer som ger skikt med silver-antimonlegering kallas ibland "hårdsilver". Dessa skikt har som benämningen antyder en högre hårdhet och används därför i applikationer där man ställer högre krav på slitstyrka, både dekorativt och funktionellt.

Tillämpliga normer:	SS-EN ISO	Ingen svensk standard fastställd för dekorativa silverbeläggningar
	SS-EN ISO 4521	Elektrolytiska beläggningar av silver och silverlegeringar för elektriska, elektroniska och tekniska ändamål
	SS-EN 2786	Electrolytic silver plating of fasteners



Förtening

Tenn kan utfällas elektrolytiskt både i matt- och höglänsande form. Tennskikten är mycket duktila, har bra lödbarhet och god kemisk beständighet mot organiska syror vid frånvaro av syre, och är därtill inte giftigt. De senaste årens utveckling inom elektronikindustrin har inneburit en kraftigt ökad användning av kombinationen nickel/tenn som konduktiv och lödbar beläggning, bl.a. på aluminium.

Tillämpningar:

- ✚ Funktionellt:
 - ◇ Lödbarhet på kontaktmaterial, chassin etc. (på koppar- och kopparlegeringar, aluminium- och aluminiumlegeringar, järnlegeringar, etc.).
 - ◇ Hygienisk beläggning inom livsmedelsindustrin.
 - ◇ Torrsmörjande som lagermaterial.
- ✚ Dekorativt:
 - ◇ Smycken och prydnadsföremål.
 - ◇ Hushållsredskap (även av hygieniska skäl).

Olika typer av tennprocesser finns för olika syfte, sura och alkaliska. De sura processerna ställer generellt högre krav på förbehandling, har högre strömutbyte och ger därmed mindre risk för väteförsprödning på höghållfast stål. De används även företrädesvis för glansförtening. För beläggning på koppartråd vid kabeltillverkning samt för beläggning på kabelskor etc. är sura mattfällande bad mycket vanliga. Alkaliska processer är vanligen mycket mer ”robusta” och ställer små eller inga krav på förbehandling varför de även kan användas inom industrin som torrsmörjande skikt, t.ex. vid tråddragning direkt i produktionslinjen. Det finns även olika varianter an legerade tennskikt.

Tenn-nickellegering

Beläggningar med tenn-nickellegering används främst som ersättare för krom i dekorativa tillämpningar. Skiktet har ett varmt vitt utseende liknande silver och är oxidations- och korrosionsbeständigt i inomhusklimat. På blanka ytor erhålls normalt god glans som är beständig. För att få det dekorativt blankt är det dock ibland nödvändigt att efterpolera ytan mekaniskt. Skiktet är även hårt och slitstarkt samt kan ge lödbarhet.

Tenn-koboltlegering

Tenn-koboltlegeringars korrosionsbeständighet är mycket god, likvärdig med den hos krom. Beläggningen kan ersätta krom i synnerhet på detaljer med komplicerad form då täckförmågan hos denna process är väsentligt bättre.

Tenn-zinklegeringar

Tenn-zinkbeläggning ger bättre korrosionsskydd i fuktig miljö än tenn resp. zink. Beläggningen ger även lödbarhet.

Tenn-zinkbeläggningar kan användas:

- ✚ På kabelförbindningar i el- och elektronikprodukter.
- ✚ Som skydd mot galvanisk korrosion i förbindelse med aluminium.

Tenn-blylegeringar

Denna typ av beläggningar saknar idag praktisk betydelse då de i princip är förbjudna att användas.

Övriga tennlegeringar

Som ersättning för tenn-bly finns idag en rad andra legeringsbeläggningar för olika ändamål. T.ex. tenn-silver, tenn-koppar och tenn-vismut.

Tillämpliga normer:	SS-ISO 2093	Elektrolytiska tennbeläggningar - Specifikationer och provningsmetoder
	SS-ISO 2179	Elektrolytiska tenn-nickelbeläggningar - Specifikationer och provningsmetoder
	SS-ISO 7587	Elektrolytiska tenn-blybeläggningar - Specifikationer och provningsmetoder
	SS-EN ISO26945	Elektrolytiska beläggningar av tenn-koboltlegering



Elektrolytiska zinkbeläggningar

Zink är den dominerande beläggningen för korrosionsskydd av stål och därmed troligen också den mest använda elektrolytiska beläggningsprocessen.

Genom elektrolytisk förzinkning (elförzinkning) kan även dekorativa ytor erhållas.

Elektrolytisk förzinkning lämpar sig bra även för beläggning av massgods, d.v.s. mindre komponenter som fästelement m.m., vilket utförs i speciella trumanläggningar.

Zink är en s.k. katodiskt skyddande beläggning vilket innebär att zink är mindre ädelt än stål och "offrar sig" därför under korrosionsförloppet. Zinksiktets tjocklek är därför av stor betydelse för beläggningens livslängd, d.v.s. fram till dess att det underliggande stålet börjar korrodera och bilda rödrot. Normalt ligger vid elektrolytisk förzinkning siktens tjocklek kring 8 – 15 µm och maximal skiktthjocklek begränsas till ca 25 µm. Fordras tjockare skikt väljs vanligen varmförzinkning.

Eftersom zinksiktet i sig självt korroderar och med tiden och bildar vitrost (vitblemma) brukar elektrolytiskt belagda zinksikt så gott som alltid efterbehandlas för att skydda själva zinksiktet mot korrosion. Valet av efterbehandling avgör därför inte bara ytans finish/kulör utan har också betydelse för korrosionsskyddet.

I de fall då det korrosionsskydd som elförzinkning ger inte räcker till, kan ett alternativ vara att använda legerade zinksikt (zink-nickel eller zink-järn).

Tillämpningar:

- ✚ Korrosionsskydd:
Används i första hand som korrosionsskyddande beläggning vid lätta till medelsvåra påkänningar inom ett brett användningsområde, exempelvis fästelement, fordonskomponenter, trädgårdsredskap, byggelement, mm.
- ✚ Dekorativt:
Då processbaden för elförzinkning innehåller s.k. glansbildartillsatser erhålls vanligen blanka till högblanka zinksikt som även kan lämpa sig för dekorativa ändamål i kombination med bra korrosionsskydd, exempelvis butiksinredningar, maskindelar, barnvagnar mm.
- ✚ Målningunderlag:
Det är vanligt förekommande att lackera på elektrolytiskt belagda zinksikt med såväl våtlack som pulverlack. Genom detta s.k. duplexförfarande erhålls ett mycket bra korrosionsskydd. I de fall det uppstår skador i lackskiktet så skyddar zinksiktet den underliggande stålytan från att rosta. Även risken för krypkorrosion och lacksläpp kring lackskadan reduceras, förutsatt att zinksiktet innan lackering passiverats korrekt.

Processtyper

Det förekommer i stort sett två olika badtyper för elförzinkning på marknaden:

- + Alkaliska, cyanidfria bad (zinkatbad).
- + Surzinkbad.

De tidigare vanligen förekommande cyanidbaserade zinkbaden är idag nästintill borta från marknaden. Trots cyanidbadens goda tekniska egenskaper har skärpta bestämmelser för kemikaliehantering och nya miljölagar inneburit att de mycket giftiga cyanidzinkbaden fasats ut från marknaden.

Valet mellan alkalisk eller sur zinkprocess avgörs av de krav man ställer på den detalj som ska ytbehandlas.

- + Alkaliska zinkbad:
 - ◇ Ger blanka zinkskikt med bra metallfördelning, d.v.s. zinkskiktets tjockleksvariation blir relativt liten.
 - ◇ Används med fördel på detaljer med mer komplex geometrisk form.
 - ◇ Är mindre lämpligt att använda då gjutjärn – och i vissa fall härdat gods – ska elförzinkas.
- + Sura zinkbad:
 - ◇ Ger högblanka skikt med sämre metallfördelning, d.v.s. zinkskiktets tjockleksvariation blir relativt stor; kantytor får betydligt tjockare skikt än övriga ytor.
 - ◇ Används på detaljer med enklare geometrisk form.
 - ◇ Kan användas på gjutjärn och på härdat gods där alkaliska zinkbad inte kan användas.

Kromatering / Passivering

För att förstärka korrosionsskyddet brukar elektrolytiskt belagda zinkskikt så gott som alltid, som ett sista processteg, genomgå en korrosionsskyddande behandling. Tidigare utfördes detta genom s.k. kromatering, vilket innebar att zinkskikten exponerades för badlösningar baserade på Cr^{6+} (sexvärt krom). Blåkromat, svartkromat, gulkromat samt grönkromat var de kromatskikt som fanns att tillgå.

Då Cr^{6+} med tiden visat sig ha mycket skadliga effekter på såväl hälsa som miljö (giftigt, cancer- och allergiframkallande), har ämnet sedan början av 2000-talet enligt vissa EU-förordningar varit förknippat med restriktioner vid användning, även för ytbehandlingsändamål:

- + Enligt ELV-direktivet är användandet av Cr^{6+} för fordon <3500 kg inte tillåtet.
- + Enligt WEEE- och RoHS-direktiven får inte Cr^{6+} användas i elektronisk utrustning, vilket även innefattar all hemelektronik (datorer, hushållsmaskiner, etc.).

Under 2017 kommer dessutom nya EU-direktiv som kraftigt minskar möjligheterna att använda Cr^{6+} för ytbehandlingsändamål.

I takt med att kromatering baserad på Cr^{6+} fasades ut, tog s.k. **passiveringslösningar** baserade på Cr^{3+} (trevärd krom) över rollen som korrosionsskydd för elförzinkade ytor. Krom i trevärd form har inte de hälsovådliga och miljöfarliga egenskaperna som Cr^{6+} är förknippade med. Passivering förekommer i utförandena blå-, gul-, transparent- samt svartpassivering.

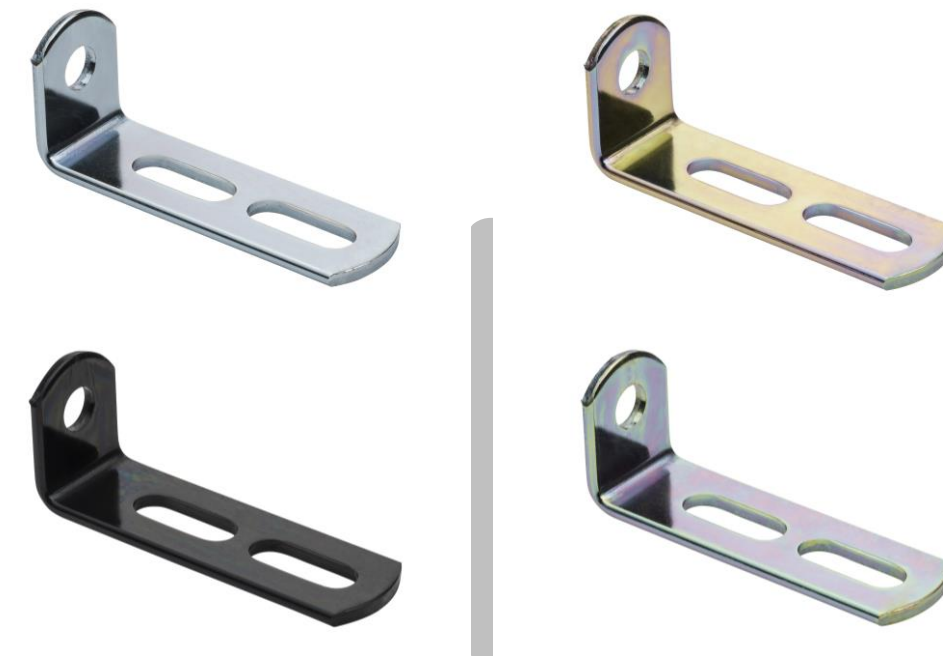
För att kunna klara omställningen från kromatering till passivering med bibehållna korrosionsskyddande egenskaper kom passiveringsbaden att förutom Cr^{3+} innehålla även fluorid samt kobolt. Kobolt, som är en tungmetall närbesläktad med nickel, har under senare år i likhet med nickel kommit att betraktas med mindre blida ögon ur miljömässig synvinkel. Det är inte omöjligt att användandet av kobolt inom kort kommer bli förknippat med restriktioner i någon form. Det pågår därför utvecklingsarbete med att avveckla kobolt i passiveringslösningar och det finns redan i dagsläget koboltfria passiveringsvarianter att tillgå.

Vidstående bilder visar en förzinkad detalj passiverad i processer som ger detaljen olika ytutseende.

Över raden blankpassivering (Zn P1) och gulpassivering (Zn P2).

Nedre raden svartpassivering (Zn P4) och tjockfilmspassivering (Zn P5).

Beteckningarna inom parentes är visat hur dessa processvarianter anges i SYF's standard 2000 "Elektrolytiska beläggningar med zink och zinklegeringar med tillhörande passiveringar"



Efterbehandling

För att ytterligare förstärka korrosionsskyddet kan ett passiverat zinksikt efterbehandlas i antingen en "sealer" eller en "post-dip". När det gäller svartpassiverade ytor rekommenderas alltid efterbehandling. Svartpassiveringsskiktet i sig är känsligt för såväl korrosion som mekanisk påverkan och måste "kapslas in" med en skyddande film för att uppnå ett fullgott slutskikt.

✚ Sealer:

- ◇ Benämns även som "Top-Coat"
- ◇ Är baserad på organiska, vattenlösliga ämnen som efter torkning ger en tunn, transparent film på zinkytan och som – förutom förbättrat korrosionsskydd – även ger bättre tålighet mot fingeravtryck och mekaniskt slitage.
- ◇ Kan användas på alla typer av passiveringar.
- ◇ Vid krav på friktionsstyrda ytor kan speciella sealers med friktionsnedsättande tillsatser användas, t.ex. olika typer av vaxer. Vanligt förekommande på t.ex. fästförband till fordon.

✚ Post-dip:

- ◇ Är baserad på vattenlösliga, oorganiska salter som efter torkning ger en tunn, tät film bestående av intorkade salter innehållande bl.a. fosfat- och Cr^{3+} -föreningar.
- ◇ Ger zinkytan ett förbättrat skydd mot korrosion, fingeravtryck och mekaniskt slitage.
- ◇ Är till skillnad från en sealer inte helt transparent samt tas bättre upp av strukturen i svart passivering varför den är bäst lämpad på denna.

Korrosionsskydd

Tiden fram till att en elförzinkad stål yta börjar korrodera (bilda rödrost) avgörs av:

- ✚ Tiden fram till zinkskiktets första vitrost.
- ✚ Zinkskiktets tjocklek.

Således – ju bättre korrosionsskydd passiveringen (och eventuell efterbehandling) ger och ju tjockare zinkskiktet är, desto längre tid innan rödrost bildas.

Genom accelererade korrosionsprovningmetoder kan man på relativt kort tid få ett mått på en beläggnings korrosionsskyddande förmåga. En välkänd och flitigt använd metod är provning i neutral saltdimma, s.k. saltdimprovningsmetod (eng NSS: Neutral Salt Spray). Saltimprovningsmetoden har fördelarna att det är en enkel, billig och lättillgänglig metod som dessutom ger relativt snabba svar. Korrelationen mellan saltdimprovningsmetod och verklighet har dock länge ifrågasatts och ansetts som mindre tillförlitlig och metoden är därför bäst lämpad som jämförande kvalitetskontroll, exempelvis för att säkra kvalitetsnivån på passiverad (och efterbehandlad) zink.

Ett 10 – 12 μm zinkskikt med en tjockskiktspassivering som efterbehandlas (sealing eller post-dip) bör klara > 200 h till vitrost och > 360 h till rödrost vid provning i neutral saltdimma.

En metod som ger mer realistiska resultat är s.k. cyklisk korrosionsprovning. Till skillnad från saltdimprovningsmetoden finns här torkperioder inlagda under exponeringstiden, vilket gör provresultaten mer överensstämmande med verkligheten. Ett vanligt cykliskt korrosionstest är ACT (Accelerated Corrosion Test) som används inom bl.a. Volvo Group, Volvo Cars och Scania. ACT kräver längre exponeringstider än saltdimma, vanligen 4 – 6 veckors exponering när det gäller elektrolytiskt belagda zink- och zinklegeringsskikt. Även andra fordonstillverkare använder sig i högre grad av cykliska tester för utvärdering av ytbehandlingsmetoder, t ex Ford, Renault, VW osv.

Tillämpliga normer:	SS-EN ISO 19598	Elektrolytiska beläggningar av zink och zinklegeringar på järn och stål med kompletterande behandlingar fria från Cr(VI)
	SS-EN ISO 2081	Elektrolytiska zinkbeläggningar med efterföljande behandlingar på järn eller stål
	SS 147000	Passiverande beläggningar utan sexvärt krom för elektrolytiska beläggningar av zink och zinklegeringar på järn och stål
	SYF std 2000	Elektrolytiska beläggningar med zink och zinklegeringar med tillhörande passiveringar





Zinklegeringar (ZnNi eller ZnFe)

För miljöer och applikationer där korrosionsskyddet från elektrolytisk zink är otillräckligt kan istället elektrolytiskt utfällda legeringsskikt med bättre korrosionsskyddande egenskaper användas.

De vanligast förekommande zinkbaserade legeringsskikten är zink-järn och zink-nickel. Såväl zink-järn som zink-nickel är, i likhet med zink, s.k. katodiskt skyddande beläggningar som även de är mindre ädla än stål och skyddar stålet från att korrodera genom egenkorrosion.

Mer komplicerad processkemi gör legeringsskikten något dyrare än olegerad zink, speciellt zink-nickel med ett sitt relativt höga nickelnehåll. Båda processtyperna är vanligen baserade på alkaliska zinkprocesser i vilka nickel eller järn legeras in men sura processvarianter förekommer även.



Tillämpningar:

-  **Korrosionsskydd:**
Används primärt som korrosionsskyddande beläggningar vid medelsvåra till svåra påkänningar, exempelvis till fordon, inom Off-shoreindustri och marin atmosfär mm.
-  **Målningsunderlag:**
I likhet med förzinkade ytor lämpar sig även zinklegeringsskikt utmärkt som lackeringsunderlag. Används för extremt korrosionsutsatta applikationer där mycket höga krav ställs på korrosionsskyddet.

Zink-Järn

Zink/järn-legeringsbad förekommer endast som alkaliska bad. De är snarlika de alkaliska zinkbaderna med den skillnaden att badlösningen även innehåller komplexbundet järn, vilket gör att järn lagras in i zinkskiktet och ger ett homogent zink/järn-legeringsskikt med ca 0,4 – 1,0 % järn. Vanligen ligger skiktets tjocklek kring 8 – 16 µm.

Zink/järnskikt är vanligen något mindre blanka än alkaliska zinkskikt, bl.a. beroende på skiktens järninnehåll, i övrigt är egenskaperna på flera punkter lika:

-  Bra metallfördelning, d.v.s. zink-järnskiktets tjockleksvariation är relativt liten.
-  Material som gjutgods och härdat gods kan ge svårigheter vid beläggning med ZnFe.

Att zink-järnskikt ger bättre korrosionsskydd än olegerad zink är till stor del avhängigt kombinationen **zink-järnskikt / efterbehandling**. Opassiverat Zn och opassiverat ZnFe uppvisar i stort sett likvärdig korrosionshastighet.

Zink-nickel

Zink-nickelbeläggningar kan framställas elektrolytiskt ur såväl sura som alkaliska badlösningar. Skikten är homogent legerade med ett nickelnehåll på nominellt 12 - 15 %, oavsett framställningsprocess men halter på upp till 17 % kan förekomma på hänggods. Vanligen används skiktjocklekar mellan 8 - 12 µm. Valet mellan alkalisk eller sur zink-nickelprocess avgörs av de krav man ställer på den detalj som ska ytbehandlas. Skillnaden mellan sura och alkaliska zink-nickelbad är desamma som gäller för olegerade zinkbad. En väsentlig skillnad mellan zink-järn och zink-nickel är att i fallet zink-järn är denna "samutfällt Fe med Zn" i två skilda faser medan zink-nickel bildar en äkta legering i så kallad γ-fas. Korrosionsmekanismen hos zink-nickel skiljer sig därför väsentligt från zink eller zink-järn då det i fallet zink-nickel sker ett långsamt korrosionsförlopp med långsam urlakning av zink.

✚ Alkaliska zink-nickelbad:

- ◇ Ger matta/halvblanka skikt med bra metallfördelning, d.v.s. tjockleksvariationen blir relativt liten.
- ◇ Kan inte användas då gjutjärn – och i vissa fall härdat gods, framförallt i mycket höga hårdhetsklasser – ska beläggas.

✚ Sura zink-nickelbad:

- ◇ Ger blanka skikt med sämre metallfördelning, d.v.s. tjockleksvariationen blir relativt stor; kantytter får betydligt tjockare skikt än övriga ytor.
- ◇ Kan användas på gjutjärn, även på härdat gods, i de fall alkaliska bad inte fungerar.

I praktiken är alkaliska zink-nickelbad vanligast. Då zink-nickel uteslutande används för tekniska applikationer där en relativt jämn skiktjocklek eftersträvas, premieras de alkaliska badens bättre metallfördelning.

Sura zink-nickelbad används oftast på material som är svåra eller omöjliga att belägga med alkaliska bad, som t.ex. gjutgods.

Zink-nickelskikt har jämfört med zinksikt, förutom överlägsna korrosionsskyddande egenskaper på stål, högre värmetålighet (upp till 300°C) och högre hårdhet.

Kromatering / Passivering

Precis som för olegerad zink brukar även zinklegeringsskikten genomgå en efterföljande korrosionsskyddande behandling, detta för att förstärka korrosionsskyddet. I likhet med olegerad zink har kromateringslösningar baserade på Cr⁶⁺ (sexvärt krom) tidigare använts även för zink-järn- och zink-nickelskikt, fram till det att EU-direktiven trädde i kraft kring 2005.

Zink-järn:

Kombinationen zink-järn / svartkromat visade sig i praktiken ha mycket bra korrosionsegenskaper och användes tidigare mycket flitigt inom fordonsidan fram till att ELV-direktivet begränsade användningen av Cr⁶⁺ (sexvärt krom) för lätta fordon (<3500 kg).

Zink-järn / svartkromat används till viss del fortfarande inom fordonssegment som inte omfattas av ELV-direktivet, men denna möjlighet försvinner 2017 då nya restriktioner för sexvärt krom kommer träda i kraft inom EU.

Zink-järnskikt förekommer idag främst i form av svartpassiverade skikt. Även gulpassiverade och transparenta skikt förekommer, om än i liten omfattning.

Dagens Cr³⁺-baserade passiveringar har jämnat ut skillnaderna mellan olegerad zink och zink-järn vad korrosionsskyddet beträffar, exempelvis uppvisar svartpassiverad zink och ZnFe i stort sett likvärdigt korrosionsskydd. Detta har gjort att användningen av zink-järn minskat senare år och ersatts av olegerad zink.

Zink-nickel:

Kombinationen zink-nickel / Cr³⁺-baserad passivering ger skikt med utmärkta korrosionsegenskaper och förekommer i form av:

- ✚ Transparent passivering: ger ofärgade, metalltonade skikt.
- ✚ Iriserande passivering: ger skikt med skiftande färgtoner (blå-grå-violett-brun).
- ✚ Blåpassivering: ger markant blåfärgade skikt.
- ✚ Svartpassivering.

Efterbehandling

I likhet med olegerad zink kan även ZnFe och ZnNi ges förstärkt korrosionsskydd genom efterbehandling i en "sealer" eller en "post-dip".

Såväl ZnFe som ZnNi som svartpassiveras bör alltid efterbehandlas. Svartpassiveringsskikten är känsliga för korrosion och mekanisk påverkan och måste "kapslas in" med en skyddande film för att uppnå ett fullgott slutskikt.

- ✚ Sealer:
 - ◇ Benämns även som "Top-Coat"
 - ◇ Är baserad på organiska, vattenlösliga ämnen som efter torkning ger en tunn, transparent film på zinkytan och som, förutom förbättrat korrosionsskydd, även ger bättre tålighet mot fingeravtryck och mekaniskt slitage.
 - ◇ Kan användas på alla typer av passiveringar.
 - ◇ Vid krav på friktionsstyrda ytor kan speciella sealers med friktionsnedsättande tillsatser användas. Vanligt förekommande på t.ex. fästförband till fordon.
- ✚ Post-dip:
 - ◇ Är baserad på vattenlösliga, oorganiska salter som efter torkning ger en tunn, tät film bestående av intorkade salter innehållande bl.a. fosfat- och Cr³⁺-föreningar
 - ◇ Ger zinkytan ett förbättrat skydd mot korrosion, fingeravtryck och mekaniskt slitage
 - ◇ Är till skillnad från en sealer inte helt transparent, vilket gör den bäst lämpad på svartpassivering

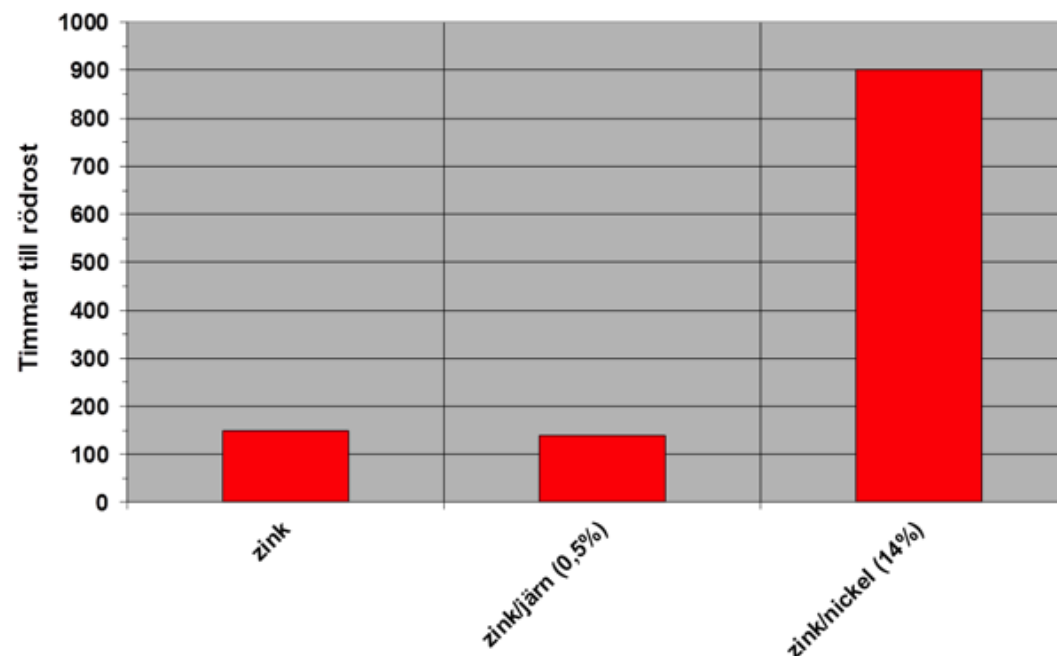
Korrosionsskydd

ZnNi-skikten ger i jämförelse med olegerad zink, och även ZnFe, flerfalt bättre korrosionsskyddande verkan på stål. Inlegeringen av nickel gör att ZnNi-skikten i sig korroderar betydligt långsammare än olegerad zink och ZnFe.

Tabellen till höger visar skillnaden i korrosionsskyddande verkan för 8 µm skikt utan passivering vid exponering i neutral saltdimma NSS (enligt SS-EN ISO 9227), d.v.s. tiden fram till att skikten korroderat bort och rödrost uppträder på stålytan.

Vid korrosionstest i neutral saltdimma bör ett ca 10 µm ZnFe-skikt med tjockskiktspassivering + efterbehandling (sealing eller post-dip) klara >240 h till vitrost och >360 h till rödrost.

Motsvarande krav för zink-nickel är det dubbla, >480 h till vitrost och >720 h till rödrost.



Tillämpliga normer: SS-EN ISO 19598 Elektrolytiska beläggningar av zink och zinklegeringar på järn och stål med kompletterande behandlingar fria från Cr(VI)
 SS 147000 Passiverande beläggningar utan sexvärt krom för elektrolytiska beläggningar av zink och zinklegeringar på järn och stål
 SYF std 2000 Elektrolytiska beläggningar med zink och zinklegeringar med tillhörande passiveringar



Hårdanodisering

Hårdanodisering, liksom dekorativ och klar anodisering, utförs normalt i en elektrolyt baserad på svavelsyra. Genom att anodisera vid temperaturer nära 0°C och med väsentligt högre strömtäthet kan en tjockare och tätare oxid erhållas. Vid större skiktjocklekar, vanligen över 25 µm, är oxidskiktet inte längre transparent utan antar matt och gråaktig ton och ibland nyanser mot brunt eller gulgrönt beroende på ingående legeringselement i basmaterialet. Då skikten normalt är väsentligt tjockare och mer slitstarka än konventionell anodisering används de så gott som uteslutande för funktionella syften.

Tillämpningar:

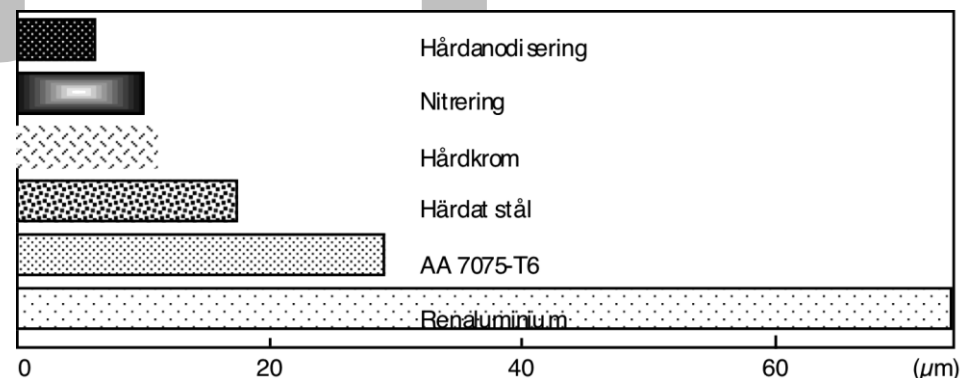
- ✚ Nötningsskydd.
- ✚ Korrosionsskydd.
- ✚ Elektrisk isolation.

De största skillnaderna mot konventionell anodisering i svavelsyra är:

- ✚ Vanligen ej eftertätade skikt som har väsentligt bättre slitstyrka.
- ✚ Tätare och tjockare skikt.
- ✚ Bättre termisk och elektrisk isolering.
- ✚ Bättre beständighet mot korrosion med tjockare skikt som eftertätas.

Hårdhet och slitstyrka

Skikten som erhålls har en lägre porositet än vid vanlig anodisering och betydligt större skiktjocklekar kan produceras, 40 – 200 µm beroende på materialkvalité. Slitstyrkan mot abrasivt slitage för skikten är vanligen likvärdig med hårdkrom och bättre än t.ex. härdat eller nitrerat stål trots att skiktets hårdhet är endast hälften, vanligen 350 – 450 HV. Detta beror på att "byggstenarna" i skiktet är väsentligt hårdare, >1200 HV. När hårdheten mäts med Vickers hårdhetsmätare blir mätningen ett "medelvärde" för hårdheten i oxiden och porerna. Mätning med s.k. nanoindenter i material mellan porerna i skiktet visar att denna har en hårdhet motsvarande väl över 1000 HV vilket är förklaringen till den mycket goda nötningbeständigheten hos skiktet. Bilden till höger visar resultat vid ett förslitningsprov med abrasivt slitage.



Korrosion

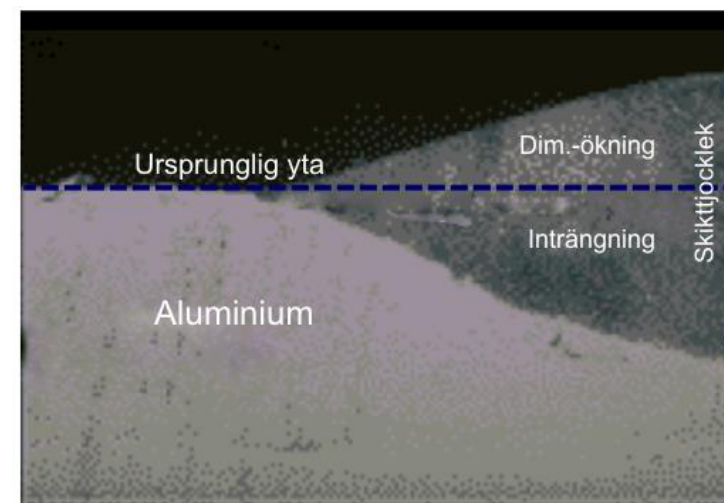
Då väsentligt tjockare skikt kan produceras med hårdanodisering än med konventionell anodisering kan även korrosionsskyddet bli bättre. Det förutsätter dock att skiktet eftertätas på samma sätt som vid konventionell anodisering för att tillsluta porerna som bildats under anodiseringsprocessen.

Skiktuppbyggnad

Tillväxten av oxidskiktet skiljer sig från konventionell anodisering genom den låga upplösningshastigheten. Aluminiumoxid har större volym än metallen och, i regel, växer skiktet till lika fort in i materialet som det bygger på. För detaljer med krav på snäva toleranser skall man vid konstruktion räkna med en måttillväxt på mellan 40 och 50 %, för vissa legeringar och vid extremt tjocka skikt t.o.m. mindre. Bilden till höger illustrerar tillväxten av ett hårdanodiserings-skikt.

Detta orsakar problem när man hårdanodiserar komponenter med skarpa hörn. Skiktet uppvisar en tendens att spricka. Problemet kan undvikas om man vid konstruktionen anpassar hörnradier till skiktets tjocklek:

Oxid tjocklek	Hörnradie
25 µm	0,8 mm
50 µm	1,5 mm
75 µm	3,0 mm



Aluminiumlegeringar för hårdanodisering

Hårdanodisering kan utföras med tillfredsställande resultat på de flesta legeringar med kopparhalter under 2 %. Olika legeringsämnen påverkar även skiktets egenskaper och hur stor dimensionstillväxten blir. Legeringar med kopparhalter över 3 till 5 % eller kiselhalter >7 % går normalt ej att hårdanodisera med gott resultat. Då flera legeringselement förekommer måste hänsyn dock tas till samtliga ämnen och gränserna för Cu och Si kan då förskjutas kraftigt åt båda hållen. De flesta tungmetallerna försämrar anodiserbarheten och skiktets hårdhet, t.ex. skärbarhetsbefrämjande tillsatser av bly.

I tabellerna nedan ges information om förväntat resultat på olika legeringar.

Plastiskt formade legeringar

Beteckning enligt SS-EN	Tidigare SS-beteckning	Lämplighet för anodisering	Skydd mot nötning	Skydd mot korrosion	Utseende	Tjocklek (max µm)	Dim.-ökning	
AW-1050A	Al 99,5	SS 4007	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - ljusgrå	100	50 %
AW-1070A	Al 99,7	SS 4005	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - ljusgrå	100	50 %
AW-1200	Al 99,0	SS 4010	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - ljusgrå	100	50 %
AW-1350	E Al 99,5	(SS 4008)	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - ljusgrå	100	50 %
AW-2007	Al Cu4PbMgMn	(SS 4335)	Bör undvikas					
	Al Cu4MgPb	SS 4335	Bör undvikas					
AW-2011	Al Cu6BiPb	SS 4355	Bör undvikas					
AW-2014	Al Cu4SiMg	SS 4338	Bör undvikas					
AW-2017A	Al CuMgSi(A)		Mindre god	God	Mindre god	Gul - grå - mörk grafitgrå	75	45 %
AW-2024	Al Cu4Mg1		Mindre god	God	Mindre god	Gul - grå - mörk grafitgrå	75	45 %
AW-3003	AL Mn1Cu		Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - grå	100	50 %
AW-3103	Al Mn1	SS 4054	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - grå	100	50 %
AW-5005	Al Mg1(B)	SS 4106	God	Utmärkt	Utmärkt	Ljus-olivgrön, mikrosprickmönster kan förekomma	100	50 %
AW-5049	AlMg2Mn0,8	SS 4115	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek	75	50 %
AW-5052	Al Mg2,5	SS 4120	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek	75	50 %
AW-5083	Al Mg4,5Mn0,7	(SS 4140)	God	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek	75	50 %
	Al Mg4,5Mn	SS 4140	God	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek	75	50 %
AW-5086	Al Mg4		God	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek		
AW-5754	Al Mg3	SS 4125	God	Utmärkt	Utmärkt	Grå, mörkare med ökad skiktjocklek		
AW-6005	Al SiMg	SS 4107	God	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - olivgrön, mikrosprickmönster kan förekomma	100	45 %
AW-6012	Al MgSiPb		God	Utmärkt	Utmärkt		100	45 %
AW-6060	Al MgSi	SS 4103	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - olivgrön, mikrosprickmönster kan förekomma	100	45 %
AW-6061	Al MgSiCu (Al Mg1SiCu)		God	Utmärkt	God	Grå till nära svart med ökad skiktjocklek	75	45 %
AW-6063	Al Mg0,7Si	(SS 4104)	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - olivgrön, mikrosprickmönster kan förekomma	100	45 %
	Al-Mg0,5Si	SS 4104	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljus - olivgrön, mikrosprickmönster kan förekomma	100	45 %
AW-6082	Al Si1MgMn		Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Ljusgrå – mörkt grafitgrå (ibland ljusare och inslag av brun nyans beroende på struktur i legeringen)	60	45 %
AW-6101B	Al MgSi	(SS 4102)	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Grå till nära svart med ökad skiktjocklek		
AW-6262	Al Mg1SiPb		Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt			45 %
AW-7020	Al Zn4,5Mg1	SS 4425	God	God	God	Ljusgrå – mörkt grafitgrå	75	45 %
AW-7022	Al Zn5Mg3Cu		God	God	Mindre god	Grå - svart	100	45 %
AW-7075	Al Zn5,5MgCu	(SS 4440)	God	God	Mindre god	Ljusgrå - grönbrun - grafitgrå	75	45 %

Gjutgods

Generellt gäller för gjutgods att skiktthjocklek och utseende varierar mycket mellan bearbetad yta och gjutyta

* Större skiktthjockleken erhålls vanligen på bearbetad yta, värderingen av max skiktthjocklek avser detta

Beteckning enligt SS-EN	Tidigare SS-beteckning	Godstyp	Lämplighet för anodisering	Utseende	Tjocklek * (max µm)	
AC-42 000	Al Si7Mg Al Si7MgFe	(SS 4244) SS 4244	Sand-/kokillgjutgods	God	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	40
AC-42 100	Al Si7Mg0,3 Al Si7Mg	(SS 4245) SS 4245"	Sand-/kokillgjutgods	God	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	40
AC-43 000	Al Si10Mg(a)		Sand-/kokillgjutgods	God	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	40
AC-43 100	Al Si10Mg(B)	SS 4253	Sand-/kokillgjutgods	God	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	40
AC-44 100	Al Si12(b)	SS 4261	Sand-/kokillgjutgods	Relativt god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	35
AC-44 300	Al Si12Fe	SS 4263	Pressgjutgods	Relativt god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	25
AC-44 400	Al Si9 Al Si10	(SS 4255) SS 4255	Pressgjutgods	Relativt god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	25
AC-46 000	Al Si9Cu3(Fe) Al Si8Cu3	(SS 4250) SS 4250	Pressgjutgods	Mindre god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	20
AC-46 100	Al Si11Cu2(Fe)		Pressgjutgods	Mindre god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	20
AC-46 200	Al Si8Cu3	SS 4251	Pressgjutgods	Mindre god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	20
AC-46 500	Al Si9Cu3(Fe)(Zn) Al Si9Cu3	(SS 4252) SS 4252	Pressgjutgods	Mindre god	Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	20
AC-47 000	AlSi12(Cu)	SS 4260	Sand-/kokillgjutgods		Grå – mörkgrå, flammig gjutyta	30

Tillämpliga normer: SS-EN ISO Nationell standard ej fastställd
 ISO 10 074 Specification for hard anodic oxidation coatings on aluminium and its alloys
 MIL-A-8625 Anodic Coatings for Aluminum and Aluminum Alloys



Hårdförkromning

Hårdkrom innebär i motsats till glanskrom ett tjockare kromskikt som, beroende på användningsområde normalt är 10 µm eller tjockare. Elektrolytiskt utfälld krom har en mycket hög hårdhet, som ligger inom området 750 - 1050 HV. Krom bildar på sin yta en osynlig, passiv oxidfilm, som ur korrosionskemisk synpunkt är jämförbar med en ädlare metall. Denna mycket goda korrosionsbeständighet förstärks ytterligare genom kromytans vätskeavstötande egenskaper.

Tillämpningar:

Egenskaperna:

- ◇ Hög hårdhet, god slitstyrka.
- ◇ Låg friktion.
- ◇ Ringa benägenhet för adhesivt slitage ("skärning").
- ◇ Mikrostrukturen som är utmärkt för att hålla en oljefilm.

Användningsområden:

- ◇ Hydraulik och pneumatik.
- ◇ Slitytor på maskindelar.
- ◇ Reparation av slitna eller felbearbetade detaljer.
- ◇ Formverktyg för plast och gummi.

S Y F

Hårdförkromning används inom ett stort antal områden genom sin kombination av funktionella egenskaper. Processerna som används är baserad på kromsyra, d.v.s. sexvärd krom (Cr(VI) eller Cr⁶⁺). Någon hårdförkromningsprocess fri från Cr⁶⁺ som har funnit praktisk användning har ännu inte utvecklats.

I bilaga A till SS-EN ISO 6158, som avser krom för tekniska ändamål, ges följande för skiktjocklek:

- | | |
|------------------|---|
| ≥ 2 – ≤ 10 µm | För att reducera friktion samt för slitstyrka mot mild nötning. |
| > 10 – ≤ 30 µm | För slitstyrka mot måttlig nötning. |
| > 30 – ≤ 60 µm | För slitstyrka mot adhesivt slitage. |
| > 60 – ≤ 120 µm | För slitstyrka mot kraftig nötning. |
| > 120 – ≤ 250 µm | För slitstyrka mot kraftig nötning, abrasion and erosion. |
| > 250 µm | För reparation. |

Material som hårdförokromas

I princip kan (med få undantag) alla ståltyper, aluminium, koppar och deras legeringar hårdförokromas. Det är dock viktigt för ytbehandlaren att veta vilket material som skall beläggas. Detta för att den speciella förbehandlingen före själva hårdförokromningen måste anpassas till det aktuella materialet. Det är särskilt viktigt då stål med hög hållfasthet skall förokromas så att beslut kan tas om värmebehandlingar i avspänningsyfte före, eller för väteutdrivning efter, beläggningsprocessen måste utföras.

Problem med s.k. väteförspredning kan uppstå på stål med hög hållfasthet, >1 000 MPa (31 HRC). Enligt SS-EN ISO 6158 skall väteutdrivning i enlighet med ISO 9588 utföras. Det är dock viktigt att notera att även om väteutdrivning utförs kommer aldrig allt upptaget väte att lämna materialet. En viss försämring avseende brottgräns vid längre tids statisk belastning kommer alltid att kvarstå, se vidstående bild som visar tid till brott vid olika belastningar på obehandlat stål, hårdförokromat stål resp. hårdförokromat och väteutdrivet stål.

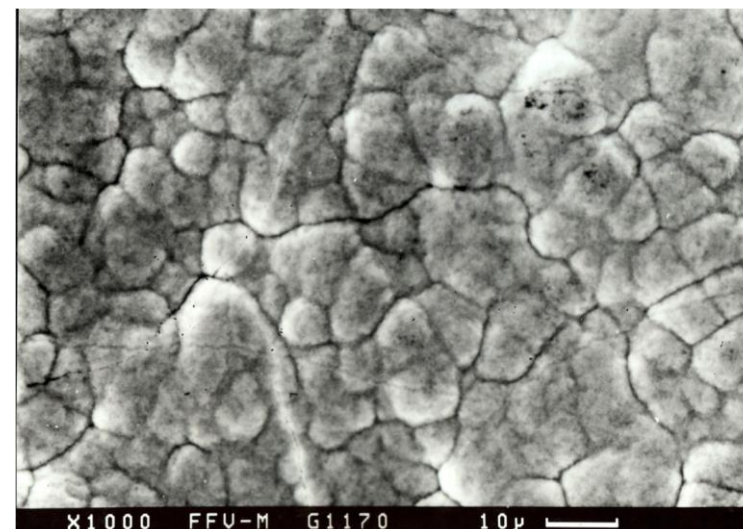
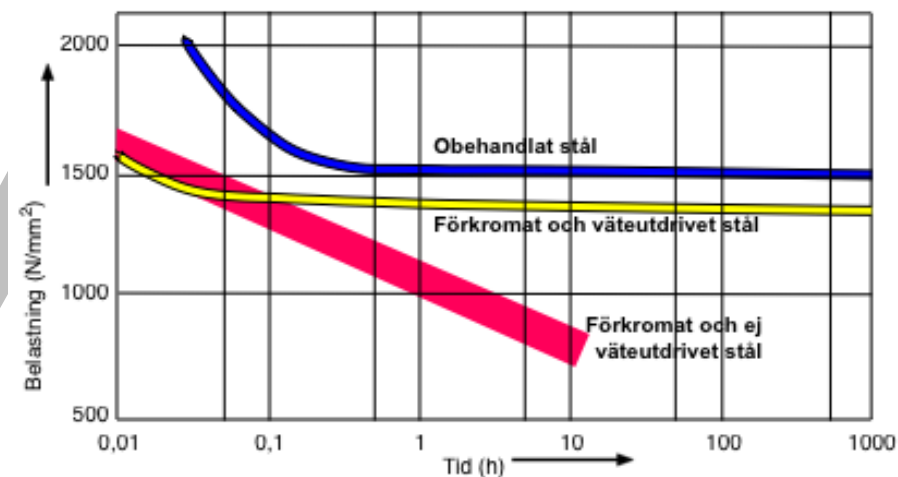
Ett hårdkromskikt påverkar den dynamiska utmattningshållfastheten hos komponenten. Vid normala skiktjocklekar, 10 – 150 µm, sjunker utmattningshållfastheten. Vid mycket tjocka skikt, >200 µm, kan man å andra sidan få en förbättring av utmattningshållfastheten.

Ett kromskikt är en s.k. "basorienterad reproduktionstyp". Detta betyder att en förokromad yta alltid återspeglar beskaffenheten hos grundmaterialets yta. Därför kan mekanisk ytbearbetning före förokromningen vara nödvändig, t.ex. genom slipning, polering eller vissa typer av blästring.

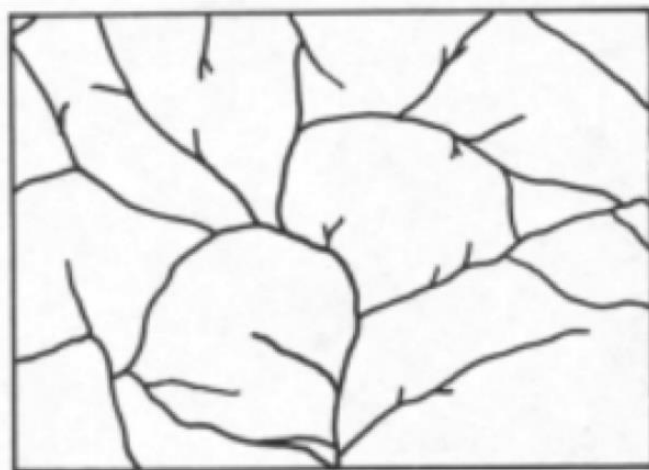
Hårdkromprocesserna har extremt dålig spridningsförmåga, d.v.s. stora variationer i skiktjocklek kan förekomma även på detaljer med okomplicerad form. I hål, inuti rör eller i trånga spalter får man vanligen inget skikt över huvud taget och över hörn och på ändytor kan skiktet bli väsentligt tjockare. Även för detaljer med längre raka ytor krävs att beläggningsutrustningen anpassas om jämntjocka skikt skall erhållas.

Olika typer av hårdkromskikt

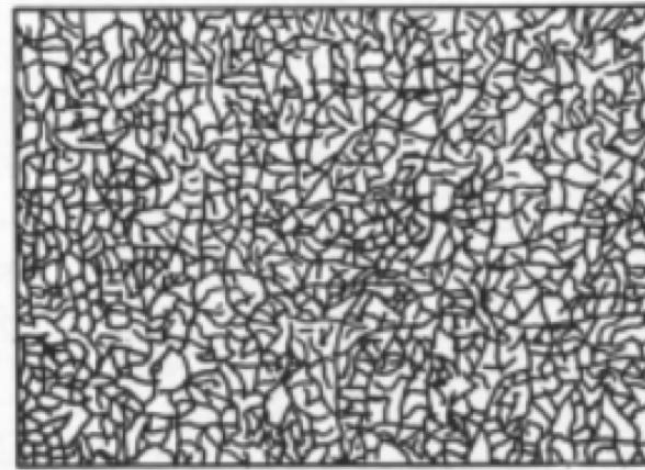
Med befintliga hårdkromprocesser är det inte möjligt att producera helt sprick- eller porfria skikt. Förekomsten av sprickor eller porer är dock gynnsam för att binda smörjmedel vid kromytan och förbättrar ytterligare hårdkromskiktets goda tribologiska egenskaper. Bilden till höger visar ytan på en hårdförokromad detalj i hög förstoring.



De två vanliga typerna av hårdkromprocesser benämns konventionell hårdkrom resp. mikrosprucken hårdkrom. Mikrosprucken krom får man genom att tillsätta s.k. blandkatalysator som innehåller fluorider till processbadet. Därmed blir elektrolyten aggressiv mot stål och kan därför inte användas på produkter med invändiga ytor som ej beläggs. Numera finns dock även fluoridfria bad som ger mikrospruckna hårdkromskikt och som inte etsar stål. Dessa har i allt större utsträckning ersatt de äldre fluoridinnehållande processerna. Bilderna nedan visar skillnaden i sprickmönster mellan ett konventionellt hårdkromskikt och ett mikrosprucket.









Sprickmönster på en kromyta från ett konventionellt sulfatbad x 200



Sprickmönster på en kromyta från ett blandkatalysatorbad x 200

Om inte skiktjockleken är alltför stor går sprickorna i ett konventionellt hårdkrom genom hela skiktet och beläggnings korrosionsskyddande förmåga försämrats därmed. Sprickorna i ett mikrosprucket skikt kan däremot mer liknas vid en labyrint genom skiktet vilket resulterar i bättre korrosionsskydd. För speciellt höga korrosionspåkänningar kan man kombinera de två typerna och lägger då vanligen mikrosprucken hårdkrom över ett tjockare konventionellt hårdkromskikt. Att använda sig av ett nickelskikt som barriär under kromskiktet förekommer även.

De olika typer av hårdkrom som finns definierade i SS-EN ISO 6158 och benämns:

-  hr Regular hard chromium (konventionell hårdkrom).
-  hm Hard chromium from mixed acid solutions.
-  hc Microcracked hard chromium (mikrosprucken hårdkrom).
-  hp Microporous hard chromium (mikroporös hårdkrom).
-  hd Duplex chromium (dubbelskikt hårdkrom).
-  hs Special types of chromium (speciella typer av krom).

För angivelse på ritning används dessa benämningar på samma sätt som för dekorativa **dekorativ nickel plus krombeläggning**, se vidare detta avsnitt.

Exempel

För beläggning med 50 µm konventionell hårdkrom på ett enkelt stål som inte kräver någon värmebehandling:

Electrodeposited coating ISO 6158 – Fe/Cr50hr

För motsvarande beläggning på ett stål som kräver avspänningsbehandling före och väteutdrivning efter beläggning:

Electrodeposited coating ISO 6158 – Fe/[SR(210)2]/Cr50hr/[ER(210)22]








Tillämpliga normer: SS-EN ISO 6158 Elektrolytiska beläggningar av krom för tekniska ändamål



Kemisk förnickling






Vid kemisk förnickling sker utfällningen av metall spontant på godsytan genom att godsytan katalyserar utfällningen. Detta gör att skiktjockleken inte varierar i tjocklek beroende på detaljens geometri som för elektrolytiska metallbeläggningar. Beroende på vilket reduktionsmedel som används kommer skiktet att innehålla en viss halt av fosfor eller bor vilket ger skikten högre hårdhet än elektrolytiskt utfällt nickel. (För borinnehållande skikt finns dock ej någon legoproduktion i Sverige.) Kemisk förnickling kan utföras på alla typer av stål, koppar och kopparlegeringar samt på aluminium genom att använda speciella system för primär metallbeläggning.

Med kemnickelskikt kan ett antal olika egenskaper erhållas:

-  Korrosionsskydd.
-  Ythårdhet.
-  Nöttningsbeständighet.
-  Låg skärningstendens.
-  Jämntjocka skikt oavsett geometri.
-  Toleransnoggrannhet.
-  Löd och svetsbarhet.

Kombinationen av egenskaper hos kemnickel gör att beläggningen kan användas i många tillämpningar.

Typiska skiktjocklekar som kan rekommenderas är:

- | | |
|--|-----------------------|
|  För lödning på aluminium | 2 - 8 μm |
|  För mildt slitage | 5 - 15 μm |
|  För måttligt korrosiv miljö och slitage | 15 - 30 μm |
|  För kraftig nötning och svårare korrosiv miljö | 30 - 75 μm |
|  För reparation | > 150 μm |

Korrosionsskydd

Kemnickelskikt är beständiga mot angrepp från de flesta naturliga miljöer och angrips endast av starka oxiderande syror och i sura miljöer som innehåller komplexbildare för nickel, exempelvis mjölksyra, ättiksyra och vissa fruktsyror.

Korrosionsskyddet som skiktet ger är beroende av att skiktet är tätt, fritt från porer och sprickor, då det verkar som ett barriärskikt på mindre ädla material. Kemnickelskikt med högre fosforhalt (> 11 %P) är därför att föredra då dessa har bättre förmåga att skapa por- och sprickfria skikt och har inre tryckspänningar som minskar risken för sprickbildning vid påkänningar. Värmebehandlas kemnickel för att öka hårdheten sker en volymminskning och därmed uppstår mikrosprickor i skiktet vilket givetvis försämrar korrosionsskyddsförmågan.

Hårdhet, nötningsbeständighet och friktion

Kemnickelskikt är mycket finkristallina och har en relativt hög hårdhet redan direkt efter utfällning. Genom att värmebehandla godset vid upp till 400°C kan skiktet utskiljningshärdas och därmed uppnås högre hårdhet.

Tabellen nedan visar hårdheten Vickers (HV) hos kemnickelskikt med olika fosforhalt värmebehandlade vid olika temperaturer:

Fosforhalt	4 – 6% P	7 – 9% P	10 – 12% P
Ej värmebehandlat	≈ 650 HV	≈ 550 HV	≈ 450 HV
Värmebehandlat 3 h vid 300°C	≈ 900 HV	≈ 750 HV	≈ 650 HV
Värmebehandlat 1 h vid 400°C	≈ 950 HV	≈ 1.000 HV	≈ 1.000 HV

Den höga hårdheten resulterar i att slitstyrkan mot abrasivt slitage blir god. Ej värmebehandlat kemnickel har slitstyrka jämförbar eller bättre än härdat stål. Slitstyrkan hos kemnickel värmebehandlat till maximal hårdhet motsvarar den hos nitrerat stål och är bara obetydligt sämre än hårdkrom. Motståndskraft mot abrasivt slitage kan provas i Taber-prov, tabellen nedan visar resultat vid provning av kemnickel med 6 – 8% P.

	Taber index
Härdförkromning	2,0
Elektrolytiskt nickel	14,7
Kemnickel, ej värmebehandlat	9,6
Kemnickel värmebehandlat 1 h @ 200°C	8,7
Kemnickel värmebehandlat 1 h @ 300°C	4,4
Kemnickel värmebehandlat 1 h @ 400°C	3,2

Till skillnad mot elektrolytiskt belagt nickel har kemnickel betydligt lägre skärningstendens mot andra metaller vilket resulterar i lägre friktionskoefficient. Friktionskoefficienten hos olika friktionspar med kemnickel och andra metaller framgår av tabellen nedan. Provningsen har genomförts osmört och med gränsskiktssmörjning.

System	Osmort (μ)	Smort (μ)
Krom vs stål	0,19 – 0,23	0,12 – 0,13
Krom vs kemnickel	0,43	0,30
Nickel vs kemnickel	Skär	0,26
Kemnickel vs kemnickel	0,38	0,21
Stål vs kemnickel	0,45	0,25
Krom vs krom	0,43	0,26
Stål vs stål	skär	0,20
Nickel vs nickel	skär	skär
Krom vs nickel	skär	0,20
Stål vs nickel	–	0,20

Toleransnoggrannhet

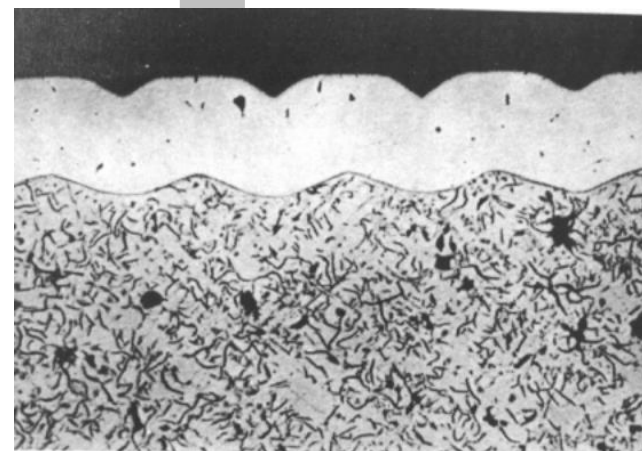
Då skiktet fälls ut spontant på metallytan fördelar det sig jämnt över en detaljs yta under förutsättning att badvätskan kan cirkulera fritt och bildad gas kan lämna ytan. Normalt kan toleranser om $\pm 10\%$ av skiktjockleken innehållas och variationer på samma detalj mindre än $3 \mu\text{m}$. Bilden visar fördelning av ett kemnickelskikt på en bearbetad yta.

Dispersionsbeläggningar

För att ytterligare förbättra kemnickelskiktets egenskaper beträffande slitstyrka finns processer där hårda partiklar (SiC, BN eller diamant) medutfällts i skiktet. Högst avsevärda förbättringar beträffande slitstyrka kan då erhållas.

Genom tillsats av PTFE-partiklar erhålls skikt med mycket låg friktionskoefficient, $< 0,1$ kan nås.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO 4527 Kemisk förnickling med nickel/fosforlegeringar



Mässingbeläggning

Beläggningar med koppar-zinklegeringar används huvudsakligen för dekorativa syften. Beläggningsprocessen kan styras så att färgen på ytan liknar guld. Beläggningen är dock känslig för oxidation och om den ljusa metallglansen skall behållas bör ytan lackeras med klarlack.

Tillämpningar:

- ✚ Dekorativt:
 - ◇ Belysnings- och möbelindustrin.
 - ◇ Byggbeslag och fästelement.
 - ◇ Smycken och prydnadsföremål.
- ✚ Funktionellt:
 - ◇ Beläggning av cord- och kant-tråd i stålradialdäck*.

*Den troligen tonnagemässigt absolut största enskilda tillämpningen som dock så gott som alltid utförs "in-house" hos trådtillverkaren. Vid vulkningsprocessen sker en kemisk bindning mellan beläggningen och gummit som har högre hållfasthet än gummit självt.

För dekorativa syften är det möjligt att antikbehandla, svart- eller brunoxidera beläggningen med efterbehandlingar.

Mer oxidationsbeständiga beläggningar av kopparlegering är bronsbeläggning. Denna kan ha samma användningsområden som mässingbeläggning men är inte lika känslig för oxidation, ytan kan dock få en vacker patina efter exponering i lämplig atmosfär. Denna typ av beläggning kan även användas som korrosionsskydd och lagermaterial.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO Ingen relevant svensk standard fastställd



Passivering av lättmetaller

Passivering av lättmetaller är liksom anodisering och fosfatering s.k. ytomvandlingsprocesser där basmetallen tillsammans med processkemikalierna bildar ett skikt på materialytan. Obehandlat aluminium får som bekant ett tunt oxidskikt, passiveras spontant, vid exponering i luft. Denna passivfilm utgör i många miljöer ett tillräckligt korrosionsskydd som dock i vissa fall måste förstärkas. Vidhäftning för lack, lim och andra organiska beläggningar på det blir oftast mycket dålig. Aluminiums goda elektriske ledningsförmåga gör att det ofta används för elektriska tillämpningar, passivfilmen gör dock att kontaktegenskaperna är dåliga.

Tillämpningar:

- ✚ Förstärkning av korrosionsskydd.
Vissa passiveringsprocesser ger ett förstärkt korrosionsskydd genom filmbildningen och inhibitorer, dock ej alla.
- ✚ Förbättra vidhäftning vid lackering eller limning.
Korrosionsskyddet för en lackerad produkt förbättras avsevärt genom att vidhäftningen förbättras och filiformkorrosion hämmas av passiveringsskiktet (detta även för passiveringsprocesser som ej ger förbättrat korrosionsskydd utan övermålning).
- ✚ Upprätthålla låg elektrisk kontaktresistans.
Det elektriskt isolerande spontant bildade oxidskiktet ersätts av en passivfilm med bättre konduktivitet.
- ✚ Förändring av emissions- och absorptionsegenskaper.

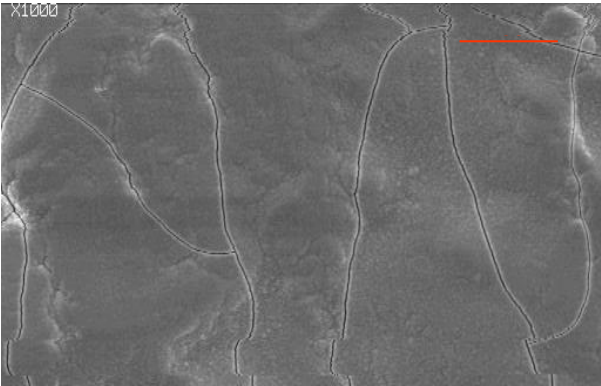
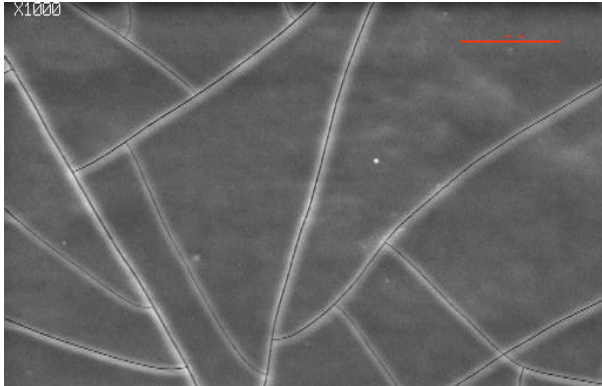
Historiskt har den förhärskande metoden för detta varit kromatering. Kromatskikt innehåller dock sexvärt krom som kan orsaka ohälsa hos människor samt har skadliga effekter på den yttre miljön (allergier vid hudkontakt och cancer i luftvägarna vid långvarig inandning av partiklar eller aerosoler innehållande Cr^{6+}). Man har därför sedan slutet på 1900-talet arbetat med att utveckla alternativa passiveringsmetoder. Inom EU finns förordningar som begränsar användningen av sexvärt krom. Det s.k. ELV-direktivet avser användningen inom fordonsindustrin, WEEE (Waste Electrical Electronic Equipment) och ROHS (Restriction Of Hazardous Substances) inom elektronikindustrin. Inom kort kommer dessutom all användning av produkter innehållande sexvärd krom att kräva speciella tillstånd.

Processtyper som ersätter kromatering:

- ✚ Passivering med Cr^{3+} -haltiga processer:
Är den typ av process som enligt många undersökningar ger det bästa korrosionsskyddet utan övermålning. Kan även användas för att erhålla låg kontaktresistans. (Används sedan ett antal år för passivering av pressgjuten zink och zinkbeläggningar).
- ✚ MeF-baserade processer (fluoridaccelererade, Ti och/eller Zr och ev. ytterligare metall).
Ger mycket tunna skikt som kan ge god vidhäftning och mycket lågt kontaktmotstånd.
- ✚ Ceriumsalter:
Bildar skyddsskikt som liknar gulkromatering och används i begränsad skala främst inom bil- och flygplanindustrin.
- ✚ Silano-teknik:
"Skräddarsydda" processer innehållande kiselföreningar med aktiva OH-grupper som kan ge extremt god vidhäftning mellan metall och organiskt skikt.
- ✚ Permanganatpassivering:
Ger skikt med låg resistans och enligt vissa undersökningar bra korrosionsskydd.

Krom(III)-processer

Denna typ av process är mest lämpad för att förbättra korrosionsskyddet på produkter som ej skall lackeras men kan även utgöra ett gott målningsunderlag och ge låg kontaktresistans, är således även mest lämplig för detaljer som målas partiellt och har ytor som kräver lågt kontaktmotstånd. Skikten innehåller ej bundet vatten i samma utsträckning som kromatskikt och är därmed ej lika känsligt för uppvärmning. Nedan redovisas en jämförelse mellan dessa skikt och kromatering.

Krom(III)-passivering	Kromatering
Tunna skikt med lätt mikrosprucken struktur	Tjockare skikt med mikrosprucken struktur
	
Lågt vatteninnehåll i filmen	Filmerna innehåller mycket vatten
Påverkas ej av högre temperaturer	Inget skydd mot höga temperaturer
Ingen självläkande effekt	”Självläkande” effekt
0,05 - 0,20 g Cr/m ²	0,2 - 0,6 g Cr/m ²
Cr(VI)-fri	0,05 – 0,15 g Cr(VI)/ m ²
0,05 – 0,20 g Cr(III)/ m ²	0,15 – 0,45 g Cr(III)/ m ²
0,5 – 1,0 μm	0,8 – 2,0 μm

F

Korrosionsskyddet denna ger är jämförbart med kromatering och uppges att i vissa fall t.o.m. vara bättre, även på gjutgods och kopparinnehållande legeringar. Beträffande kraven för elektrisk övergångsresistans uppges processen uppfylla kraven i MIL-C-81706 och MIL-C-5541 på båda AW6061 och AW2024. Egenskaperna beträffande vidhäftning anges vara goda även om det finns vissa indikationer på sämre lackvidhäftning på kopparinnehållande legeringar. Skiktet är transparent till svagt grönskimrande men även pigmenterade varianter förekommer.

Metallfluoridbaserade processer

Beläggningar av denna typ används i stort sett uteslutande som underlag före lackering eller utan organiskt täcksikt för att upprätthålla lågt elektriskt kontaktmotstånd i icke korrosiva miljöer. De mest använda är baserade på titan, zirkonium och/eller hafnium. Vissa processer har även tillsats av kobolt vilket kan vara värt att beakta då det är ett ämne som har egenskaper liknande nickel (några restriktioner föreligger dock ej f.n.). Skiktet är tunt, i storleksordningen 10 nm eller 10 mg/m² och i stort sett osynligt. Vissa processer kan kombineras med en "sealer" för att förbättra korrosionskyddet och i vissa fall även ge kulör.

Ceriumsalter

Beläggningen kan användas som korrosionsskydd utan övermålning samt som underlag för lackering. Beläggningen är tunn, 0,1 – 0,2 µm. Beläggningen ger gul färg vilket medför att det är lättare att upptäcka hanteringsskador. Detta har gjort den intressant att använda på känsliga komponenter med komplicerad hantering under tillverkningsprocessen exempelvis inom flygplanindustrin. Korrosionsskyddet som erhålls uppges vara gott. På gjutgods och kopparlegerat material har goda resultat rapporterats både beträffande korrosion och vidhäftning.

Silanoteknik

Denna typ av passiveringsskikt används uteslutande som underlag för lackering. Silan-baserade passiveringssystem utgör en direkt länk med kemisk bindning till metallytan och det organiska skiktet. Skiktet är homogent och ca 50 – 100 nm tjockt. Valet av system (passivering + organiskt skikt) måste göras noga för att goda vidhäftnings- och korrosionsskyddsegenskaper skall erhållas.

Permanganatpassivering

Ytomvandlingsskikt baserade på permanganat kan användas på aluminium i inomhusmiljö. Det kan användas både i tillämpningar utomhus och inomhus som förbehandling före målning. Processen har uppvisat goda resultat vid pulverlackering. Skikten är tunna (cirka 0,2 µm) och är lämpade i tillämpningar där man vill ha låg dämpning av mikrovågor. Beträffande elektrisk kontaktresistans uppfyller vanligen skikten vanligen kraven i förekommande normer. På legeringar med högre kopparinnehåll kan krävas en "sealer" för att möta krav på korrosionsskydd vilket medför att kontaktresistansen blir högre.

Processen bygger på samma principer som konventionell kromatering. Under inverkan av starkt oxiderande kaliumpermanganat bildas en blandning av aluminiumoxid och manganoxid vilka tillsammans bildar en skyddande film. Processen passar de flesta sorters aluminium. De mest korrosionskänsliga kopparinnehållande legeringarna kan kräva ett tjockare oxidskikt.

Tillämpliga normer: MIL-DTL-5541 Chemical Conversion Coatings on Aluminum and Aluminum Alloys
MIL-DTL-81706 Chemical Conversion Materials for Coating Aluminum and Aluminum Alloys



Svartoxidering

Svartoxidering kan utföras på järn och stål (inklusive gjutjärn och rostfria stål). En relativt tunn, tät svart oxidfilm skapas på ytan. Oxiden ger låg friktion mot andra metallytor och fungerar bra som bärare av oljor och vax.

Tillämpningar:

- ✚ Dekorativt och som korrosionsskydd i inomhusmiljö:
 - ◇ Verktyg.
 - ◇ Vapendelar.
 - ◇ Motorkomponenter som utsätts för värmestrålning.
- ✚ Funktionellt för att ge låg friktion och jämn, tyst gång:
 - ◇ Symaskinsdelar.
 - ◇ Finmekanik.

Alla kolstål kan svartoxideras med gott resultat. Bland de rostfria stålen lämpar de lågt legerade stålen bäst, så kallade "syrafasta" stål kan vara problematiska att behandla med gott resultat. Skikten efterbehandlas oftast genom inoljning eller polering med vax för att önskad funktion skall erhållas.

Huvudsakligen finns två olika processer finns för svaroxidering, behandling i lutlösning vid 130 – 150°C eller ånganlöpning i vattenånga vid ca 550°C. Den senare används huvudsakligen för mindre maskinkomponenter som t.ex. symaskinsdelar medan lutprocessen är mer allmänt använd. Det finns även specialkemikalier för oxidation av stålytor vid rumstemperatur, t.ex. för att reparera nötta ytor på gevärsgedetaljer, dessa kan dock innehålla giftiga ämnen som numera är förbjudna att använd.

För stål med extrem hög hållfasthet (hårdade splines på axlar etc.) kan ett spänningsskorrosionsproblem uppstå efter svartoxidering i alkaliskt bad, "lutförsprödning".

Tillämpliga normer: SS- ISO 11408 Svartoxidering av järn och stål - Krav och provningsmetoder



Ytbehandling av plast

Genom att belägga plastprodukter med en metallisk yta ökar man dess skydd mot skador och repor samt ger ytan en exklusiv och tilltalande utseende. Metallbeläggningen ger även elektrisk ledningsförmåga i ytan och kan reflektera värmestrålning som annars kan vara skadlig för plastmaterialet. Vanligast är att beläggningssystem som beskrivs under dekorativa nickel-krombeläggningar används, dock efter att plastytan först getts ett ledande metallskikt.

Tillämpningar:

- ✚ Dekorativt:
 - ◇ Lister, beteckningar och kylargrillar på fordon.
 - ◇ VVS-detaljer.
 - ◇ Smycken och bijouterier.
 - ◇ Kapsyler till parfymflaskor.
 - ◇ Ljusarmaturer.
- ✚ Funktionellt:
 - ◇ Skärmning och strålningsskydd i chassin till el- och elektronikprodukter.
 - ◇ Framställning av mönsterkort.

Med speciella förbehandlingsprocesser kan plastdetaljer metalliseras. Mest lämpade är ABS-plaster men processer för andra plastmaterial finns även. I princip vilken metallbeläggning som helst kan göras efter att plastytan aktiverats och försetts med ett ledande metallskikt.

Metallbeläggningar på plast kan även göras med s.k. vakuumprocesser. Även andra material som glas och keramer etc. kan metalliseras med denna teknik.

Tillämpliga normer: SS-EN ISO Inga svenska standarder finns fastställda



Dekorativa beläggningar

Anodisering

Anodisering ger en ljus och metallblank yta då tunna anodiseringsskikt är transparenta. För bästa utseende bör legeringar med lågt legeringsinnehåll väljas. Med ökande skiktjocklek och på legeringar med högre legeringsinnehåll "grumlas" skiktet vilket resulterar i ett "mjölkigare" eller gråare utseende. Skiktet går att infärga till många kulörer. Vilka färger som kan väljas begränsas dock av vilka som finns tillgängliga hos respektive leverantör, vanligast förekommande är svart, gul/guld, turkos/blå samt röd.

Elpolering

Genom elpolering kan en mycket blank och beständig yta erhållas på rostfritt stål. Vanliga austenitiska rostfria stål (s.k. 18/8-stål) lämpar sig bäst om hög glans önskas men även ferritiska och duplex-stål kan behandlas.

Flakes

"Flakes" (eller zinkflakes) är beläggningar som primärt används som korrosionsskydd på fästelement etc. Utseendet som erhålls är dock metallblankt. Vanligaste förekommande kulörerna är silverfärgad eller svart men pigmentering till andra kulörer kan förekomma.

Förgyllning

Guld oxiderar ej i luft som alla andra metaller och bibehåller därmed sitt utseende under lång tid. Genom legering av guld med andra metaller kan olika nyanser erhållas på beläggningen. Färger från ljusgult, gult, rosa till rött samt gulgröna nyanser kan erhållas.

Förkoppling

Förkoppling används som dekorativ ytbehandling på t.ex. ljusarmaturer, prydnadsföremål utomhus och möbler. Ofta utförs en patinering så att ett ärgat eller brun-svart utseende erhålls. Skall ytan ha en beständigt kopparfärgat utseende krävs skyddslackering.

Förkromning – Nickel-krombeläggning

Krom ger en metallblank blåskimrande yta som behåller sitt utseende i de flesta naturliga miljöer. Detta genom den skyddande passivfilmen som spontant bildas på kromytan i luft. Tjockare kromskikt kan poleras till hög glans. Det vanliga är dock att glansverkan erhålls genom underliggande glansnickel. Vid dekorativ nickel-krombeläggning läggs 0,1 - 1,0 µm krom som ett oxidationsbeständigt toppskikt på nickel. Matt-, halvmatt- och satinutseende erhålls genom förkromning av ett underskikt av matt-, halvmatt-, eller satinnickel.

Försilvring

Bordsbestick och andra hushållsföremål försilvras och då ofta på nickelmässing som polerats till hög glans. Detta är vad som oftast benämns som nysilver. Silver är inte oxidationsbeständigt utan får mörk patina

Förzinkning

Elektrolytisk förzinkning är primärt en korrosionsskyddande beläggning, detta innebär dock att många metallföremål hindras att oxidera och metallglansen från zinkbeläggningen bibehålls väl i inomhusmiljöer, i synnerhet när skiktet är passiverat. Passiveringsmetoder för att erhålla kulörer finns även, vanligast är gul för att efterlikna gul kromatering som tidigare varit vanligast men som numera fasats ut av miljöskäl.

Zinklegeringar

Zinklegeringsbeläggning är som förzinkning primärt avsedd som korrosionsskydd men kan även användas för att erhålla ett svart ytutseende genom passivering. Passiveringsprocesser för metallblankt resp. gult utseende finns även.

Mässingbeläggning

Mässingbeläggning används som dekorativ ytbehandling på t.ex. ljusarmaturer, prydnadsföremål utomhus och möbler. Ofta utförs en patinering så att ett ärgat eller brun-svart utseende erhålls. Skall ytan ha ett beständigt mässingfärgat utseende krävs skyddslackering.

Svartoxidering

Järn, stål, koppar och kopparlegeringar kan svartoxideras och få djupsvart utseende, med anoljning eller vaxpolering blir ytan blankare och mer beständig. Olika processer används för svartoxidering av järn och resp. koppar- och kopparlegeringar. Även rostfria stål kan svartoxideras med speciella processer, mer korrosionsbeständiga (s.k. syrafasta stål) är dock mindre lämpade. Varianter av oxideringsprocesser finns som ger brunare beläggningar, dessa används t.ex. för äldre (antika) vapendetaljer etc.

Ytbehandling av plast

Med speciella förbehandlingsprocesser kan plastdetaljer metalliseras. Mest lämpade är ABS-plaster men processer för andra plastmaterial finns även. Nickel-krombeläggning av t.ex. lister, kylargrillar och backspeglar till fordon är vanliga och komponenter till VVS-armaturer förekommer. Ett annat stort område är dekorativa metallbeläggningar på hattar till parfymflaskor etc., bijouterier, ljusarmaturer etc., ett område som dock i allt större utsträckning tas över av vakuumprocesser.






S Y F

Korrosion

Korrosionsskyddande beläggningar

Alla konstruktionsmetaller korroderar om de exponeras i en miljö de är känsliga för. Det enda undantaget är guld som inte angrips i någon naturlig miljö och som därför kan förekomma i naturen i ren form. För att skydda konstruktioner mot korrosion finns olika lösningar. Man kan enkelt indela de olika typerna av skydd i tre kategorier:

-  Barriärskikt.
-  Katodiska skyddsskikt.
-  Passivitet.

Barriärskikt skyddar underliggande material genom att, som namnet anger, bilda en barriär mot omgivningen. Det kan utgöras av organiska skikt, lack eller plastbeläggningar, eller metallskikt som har avsevärt lägre korrosionshastighet eller inte angrips alls i den aktuella miljön. Viktigt för denna typ av beläggningar är att de är täta och har god vidhäftning till grundmaterialet så att underkorrosion försvåras. Utgörs beläggningen av ett metallskikt som är ädlare än basmetallen är detta särskilt viktigt. Angrepp i porer, sprickor eller andra skador kan försvåras genom galvanisk korrosion från metallbeläggningen. Typiska exempel på barriärskikt är metallbeläggningar med olika typer av koppar, nickel eller krom samt anodisering av aluminium.

Katodiska skyddsskikt skyddar underliggande material genom att, som namnet anger, ge det ett katodiskt skydd. Man uttrycker det ofta som att "beläggningen offerar sig för grundmaterialet". Det är då inte lika viktigt att skiktet är porfritt och oskadat då även obelagda ytor skyddas. De i särklass vanligaste skyddsskikten av detta slag utgörs av metallbeläggningar med zink eller zinklegeringar samt organiska skikt med zink/aluminium-partiklar (flakes).

Passivitet innebär att det på metallytan bildas en passivfilm, vanligen oxid, som skyddar metallen från att korrodera. De flesta metaller gör detta om miljön är den rätta. Vissa metaller som krom, aluminium och titan, som annars är att betrakta som oädla, bildar spontant passivfilm då de exponeras för syret i luft och är därför kända som tåliga mot korrosion i många miljöer. Exponeras de däremot för ämnen som bryter passivfilmen kan korrosion gå fort. Salthaltig miljö bryter passivfilmen på aluminium och klorider i kombination med starka syror passivfilmen hos krom och titan. Passivering kan göras som ytbehandlingsoperation på de flesta metaller för att förstärka korrosionsbeständigheten. Detta görs ofta som slutbehandling efter metallbeläggning eller som enskild operation på gods av zink, aluminium eller magnesium.

Ett exempel på ytbehandling som utnyttjar alla tre typer av skydd är förzinkning. Zinksiktet utgör ett barriärskikt då korrosionshastigheten för zink i vanlig atmosfärisk miljö är 50 till 200 gånger långsammare än för stål. Förekomsten av zink på ytan ger katodiskt skydd och det färdiga zinksiktet passiveras oftast för att fördröja starten av korrosion av zinksiktet.

Korrosionsprovning

Fältprovning har varit och är fortfarande den traditionella metoden att verifiera korrosionsegenskaperna hos nya material och beläggningar. Fältprovningsstationer är vanligen placerade på platser med aggressiv atmosfär som nära havskuster eller i industriområden men finns även på platser med ur korrosionssynpunkt mycket mild miljö. I Sverige finns t.ex. fältstationer för marin miljö på Bohus Malmön vid västkusten (se vidstående bilder), för stadsmiljö i Stockholm och för lantmiljö i Enköping (Ryda). Tidigare har en station för industriell miljö varit belägen vid Rönnskärsverken i Skelleftehamn men denna drivs ej längre. Swerea förfogar dock över fältstationer för industriell miljö i Singapore och Kina.

Fältstationerna kan vara användbara för mer generell verifiering av ett materials eller beläggningssystem korrosionsegenskaper i respektive miljö. För en specifik produkt är det dock mer relevant att om möjligt utföra provningen under drift i dess egentliga applikation och i den/de miljö(er) som anses mest påfrestande. Provning i driftsituationer kan dock ta längre tid än vad som kan tillåtas t.ex. innan lansering av en produkt. Att då prova kortare tid än produktens planerade livslängd och göra noggrann analys av påverkan för att kunna prediktera utfallet kan då vara en framkomlig väg för verifiering av produkten.

Vad som efterfrågats under alla år som accelererade korrosionsprovningssystem funnits är hur man översätter ett provningsresultat till livslängd i en viss driftsituation och miljö. Några sådana verktyg för generell användning finns inte. Provningsmetoder har dock utvecklats under senare år från att ha varit kvalitativa till att bli mer kvantitativa och detta har i viss mån ändrat förutsättningarna för kvalificering av nya produkter. Moderna system för styrning har resulterat i bättre reproducerbarhet vid korrosionsprovning och utveckling av bättre metoder för bedömning och karaktärisering av provningsresultatet har ökat förmågan att tolka resultatet mot exponering av detaljen i dess applikation. Det är dock av yttersta vikt att denna utvärdering görs av väl kvalificerad personal. Någon generell "översättningstabell" mellan exponeringstid i det accelererade testet mot drifttid i en produkts egentliga applikation finns fortfarande inte. Det är också viktigt att känna till att de olika provningsmetodernas påverkan på olika beläggningssystem kan variera avsevärt, i synnerhet om jämförelsen görs mellan olika typer av skyddsmekanismer (barriärskikt, katodiska skyddsskikt eller passivitet). Ett system som klarar ett korrosionsprov bättre kan vara avsevärt sämre i sin verkliga applikation. Val av provningsmetod och tolkning av provningsresultat måste därför göras noggrant.

Råd för val av korrosionsprovningssystem finns i:

SS-ISO/TR16335:2013 — Vägledning för val av accelererad korrosionsprovning för produktkvalificering.



Olika provningsmetoder

Utveckling av metoder för accelererade korrosionsprov har bedrivits under lång tid. Huvudsakliga parametrar för att accelerera korrosionsförloppet har varit:

- ✚ Temperatur
- ✚ Fukt
- ✚ Salter
- ✚ Aggressiva gaser
- ✚ Strålning

En målsättning har givetvis varit att så snabbt som möjligt få ett provningsresultat. Tyvärr har det visat sig att det finns en motsättning mellan acceleration och relevans mot utfall vid exponering i naturliga miljöer. T.ex. kan tillförsel av aggressiva gaser medföra att pH i systemet sänks till en så låg nivå att helt andra kemiska reaktioner sker än de som är naturligt förekommande.

SS-ISO/TR16335 delar in de olika sätten att utföra korrosionsprov i olika kategorier enligt nedan:

Typ av prov *	Exempel på standard **
A Kontinuerlig saltdimma	ISO 9227; IEC 60068
B Provning med alternerande doppning i saltlösning följt av torkning eller intermitterent besprutning med saltlösning	ISO 11130
C Provning med cyklisk variation av luftfuktighet (torrt/fuktigt) som även omfattar sekvenser med besprutning med saltlösning	ISO 11474; ISO 14993; ISO 11997-1; ISO 11997-2; ISO 16151; ISO 16701; ISO 20340; IEC 60068-2-52
D Provning med kontinuerlig exponering i atmosfärer med låga koncentrationer av korrosiva gaser och hög luftfuktighet även omfattande sekvenser med torkning och korta perioder med besprutning med saltlösning	ISO 10062; IEC 60068-2-60
E Provning med kontinuerlig exponering i atmosfärer med högre koncentrationer av korrosiva gaser och hög luftfuktighet även omfattande sekvenser med torkning och korta perioder med besprutning med saltlösning	ISO 21207
F Provning i hög luftfuktighet	IEC 60068-2-78; IEC 60068-2-30; NT ELEC 025 (med kondenserande fukt)

* Endast en uppdelning i olika typer av prov, benämningarna utgör ingen gradering av provens svårighetsgrad

** Endast ISO- och IEC-normer anges i ISO-dokument, många andra provningsnormer från organisationer och företag används

Klimatprovning

Provning i klimatskåp kan göras med konstant luftfuktighet och temperatur eller cykliskt med kondenserande fukt. För vissa metoder görs även tillsats av korrosiva gaser (SO_2 , NO_x , H_2S , NH_3 , Cl_2 , etc). Denna typ av prov är mer vanliga för komponenter i applikationer för el och elektronik där detaljerna exponeras inomhus eller skyddade utomhus. Avsikten är att simulera variationer i relativ luftfuktighet och temperatur samt vanligen även kondenserande fukt. För provning av komponenter som utsätts för någon mer specifik miljö kan tillsatser av ämnen som är besvärande ur korrosionssynpunkt göras, exempelvis:

- ✚ svaveldioxid och kväveoxider för att efterlikna miljö som förorenas av förbränningsgaser från fossila bränslen
- ✚ svavelväte för miljöer i närhet av petrokemisk, pappers- eller stålindustri, biogasanläggningar eller närhet till miljö med ruttnande organiskt material, vattensjuka oråden (kärr etc.) eller boskapshållning.
- ✚ kväveoxider för kontroll av porositet i ädelmetallskikt på kopparbasmaterial

Denna typ av prov kan användas för i stort sett alla metaller och olika typer av beläggningar för att undersöka inverkan av korrosionsbefrämjande ämnen. Det är dock viktigt att beakta att den miljö man vill efterlikna mer komplex kan synergism mellan olika ämnen bidra till stora variationer i aggressivitet.

En speciell provning av denna typ är det s.k. Kesternich-provet som togs fram av Volkswagens korrosionslaboratorium. Det är avsett att simulera surt regn eller industriell atmosfär för att utvärdera den relativa korrosionshårdigheten hos beläggningen och substrat. Komponenter eller paneler exponeras i en speciellt utformad kammare och exponeras under dygnscykler, 8 h vid förhöjd temperatur och fukt som surgjorts SO_2 och 16 h med skåpet öppet. Testet har varit vanligt, och då i synnerhet som krav på komponenter till Volkswagen, men kritiserats då den höga svaveldioxidhalte gjort att angreppet mer varit fråga om frätande syra än atmosfärisk korrosion i industrimiljö.

Tillämpliga normer:

ISO 10062	Corrosion test in artificial atmosphere at very low concentration of polluting gas(es)
SS-EN ISO 10062	Korrosionsprovning i artificiell atmosfär vid mycket låga halter av gasformig(a) förorening(ar)
SS-EN ISO 6988	Svaveldioxidprovning med allmän kondensation av fukt (Kesternich)
DIN 50018	Testing in a saturated atmosphere in the presence of sulphur dioxide



NSS - Neutral saltdimsprovning

NSS är en artificiell provningsmetod för att bestämma korrosionshårdigheten hos ytbeläggningar och metaller. Det är troligen den äldsta och vanligast tillämpade metoden för accelererad korrosionsprovning världen över. Detaljerna utsätts under provningen för nedfall av en bestämd mängd saltdimma av 5% saltlösning. Provet löper kontinuerligt under en bestämd tid och vid konstant temperatur (35°C). Metoden är effektiv när det gäller att detektera avvikelser som sprickor och porer i barriärskikt, i synnerhet om skiktet utgörs av en metall ädlare än basmaterialet. Korrosionsprodukter kommer då att "blöda ut" och missfärga ytan på provet. För beläggningar som utgör ett katodiskt skydd blir metoden mer ett mått på hur fort skiktet bryts ned eller skyddseffekten hämmas så att det katodiska skyddet ej upprätthålls. Vid provning av lackerade produkter är det främst ett prov av skiktets vidhäftning och systemets förmåga att förhindra utbredning av korrosion vid skador i lackskiktet. Provningsresultat har sällan god korrelation mot en komponents exponering i drift. Metoden används företrädesvis för processkontroll när kravet fastställts baserat på prov i drift eller mer kvalificerade prov och bedömningar. Provningsmetoden bör endast användas för jämförelse mellan produkter med likartad funktion och exponering och med material och beläggningar av samma typ.

Tillämpliga normer:

SS-EN ISO 9227 Korrosionsprovning i artificiell atmosfär – Saltdimsprovning
 ASTM B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
 Volvo STD 423-0010 Korrosionsprovning i artificiell atmosfär - saltdimsprovning

AASS - Sur saltdimsprovning

AASS är en provningsmetod för korrosionshårdighet som utförs på samma sätt som NSS men där saltlösningen som objekten besprutas med har surgjorts med ättiksyra ner till pH 3,1 – 3,3. Metoden lämpar sig för processkontroll vid provning av beläggningar med dekorativt nickel plus krom.

Tillämpliga normer:

SS-EN ISO 9227 Korrosionsprovning i artificiell atmosfär – Saltdimsprovning
 Volvo STD 423-0010 Korrosionsprovning i artificiell atmosfär - saltdimsprovning



CASS – Kopparaccelererad sur saltdimsprovning

CASS är en provningsmetod för korrosionshärdighet som utförs på samma sätt som NSS men där saltlösningen surgjorts som i AASS och dessutom har en tillsats av kopparklorid. Förekomsten av koppar gör provet mer aggressivt då den kemiskt aktiva ädlare metall driver på korrosionen. Metoden används liksom AASS för processkontroll för provning av beläggningar med dekorativt nickel plus krom men även för provning av anodiseringskikt på aluminium, metalliserade plastprodukter samt t.ex. för korrosionshärdigheten på lättmetallfälgar till personbilar. Liksom för ovan beskrivna metoder för saltdimsprovning bör påpekas att provningsresultaten sällan god korrelation mot en komponents exponering i drift. Metoden bör endast användas för processkontroll.

Tillämpliga normer:

SS-EN ISO 9227 Korrosionsprovning i artificiell atmosfär – Saltdimsprovning

ASTM B368 Test method for copper-accelerated acetic acid-salt spray (fog) testing (CASS Test)

SCAB

Det s.k. Scab-testet är en metod där testföremålet exponeras utomhus samt besprutas med saltlösning med regelbundna intervall. Det utvecklades ursprungligen i samarbete med Volvo i syfte att simulera den miljöpåverkan som detaljer exponerade kustnära utsätts för. Metoden har använts för provning av lacksystem, metallbeläggningar och ytomvandlingsskikt på stål och aluminium men har idag i stort sett ersatts av modernare metoder av typen CCT. Trots att det är fråga om utomhusexponering är det ej lämpat för kvalificering av komponenter utan bör endast användas för jämförelse mellan produkter med likartad funktion och exponering och med material och beläggningar av samma typ.

Tillämpliga normer:

SS-EN ISO 11474 Accelererad utomhusprovning genom intermitterant besprutning med saltlösning (Scab-provning)

Cyklisk korrosionsprovning (CCT Cyclic Corrosion Test)

Denna typ av provning har under senare år utvecklats av många organisationer och företag. Proven består av cykler med saltdimma, kondenserande fukt respektive lägre relativ luftfuktighet, olika temperaturer samt i vissa fall även UV-bestrålning. Denna typ av provning anses ha bättre korrelation mellan provningsresultat och exponering i verklig drift. Man bör dock även för denna typ av provning vara försiktig med att använda den för jämförelse av korrosionshärdighet hos detaljer med olika funktion eller med annan typ av kombination av grundmaterial och korrosionsskyddande beläggning. Metoderna är vanlig för provning av lackssystem samt för katodiska skyddsskikt som zink och zinklegeringar samt beläggningar med "flakes".

Nordtestet ett exempel på denna typ av cyklisk klimatprovning för att bestämma olika ytbeläggnings korrosionshärdighet. Metoden används bland annat för certifiering av byggskruv. Godkännande ger möjlighet att märka fästelement med erhållen korrosionsklass (C3 alt. C4).

Tillämpliga normer:

- | | |
|-------------------|---|
| SS-ISO 14993 | Korrosion hos metaller och legeringar - Accelererad provning innefattande cyklisk exponering i saltdimma, torr atmosfär och fuktig atmosfär |
| SS-EN ISO 11997-1 | Bestämning av korrosionsskyddsförmåga under cykliskt varierande betingelser - Del 1: Våt (saltdimma)/torr/fuktig atmosfär |
| SS-EN ISO 11997-2 | Bestämning av korrosionsskyddsförmåga under cykliskt varierande betingelser - Del 2: Våt (saltdimma)/torr/fuktig atmosfär samt UV-ljus |
| SS-EN ISO 16151 | Accelererad cyklisk provning innefattande exponering i surgjord saltdimma, torr och fuktig atmosfär |
| SS-EN ISO 16701 | Accelererad korrosionsprovning genom exponering under kontrollerade förhållanden avseende fuktcyklning och intermitterant besprutning med saltlösning |
| SS-ISO 21207 | Accelererad korrosionsprovning genom omväxlande exponering för korrosiva gaser, neutral saltdimma och upptorkning |
| VDA 621-415 | Cyclic corrosion testing of materials and components in automotive construction |
| VDA 233-102 | Cyclic corrosion testing of materials and components in automotive construction |



ACT - Accelerated Corrosion Test

ACT är en typ av cyklisk klimatprovning för att bestämma olika ytbelägningars korrosionshårdighet. Metoden har utvecklats i samarbete med fordonsindustrin i Sverige för att efterlikna verkliga korrosionsförlopp på ett mer naturtroget sätt än vad tidigare metoder gjort. Provobjekten utsätts för en testcykel som skall simulera nederbörd samt variationer i relativ luftfuktighet och temperatur. Dessa metoder används idag i stor utsträckning av den Svenska fordonsindustrin och har på senare tid i stort sett ersatt saltdimsprovning för komponentprovning.

Tillämpliga normer:

ISO Standard ännu ej fastställd

ACT

Volvo STD 423-0014 Accelererad korrosionsprovning

VCC VCS 1027,149 Accelererad korrosionsprovning

ACT II

VCS STD 1027,1449 Accelerated corrosion test, version II – ACT II

Dip Test

Diptestet är en växeldopptest utvecklad för korrosionsprovning av rostfria eller aluminiumdetaljer samt för korrosionsprovning av lackerade komponenter. Sammansättningen av den lösning i vilken provet doppas kan variera beroende på vad de aktuella detaljerna utsätts för, exempelvis "skvalpzonen" i marina miljöer, avisningslösningar, sura saltmiljöer etc.

En specifik metod finns även för kontroll av bordsbestick.

Tillämpliga normer:

SS-EN ISO 11130 Korrosion hos metaller och legeringar - Provning genom omväxlande doppning i saltlösning

SS-EN ISO 8442-2 Krav på bestick av rostfritt stål och silverpläterade bestick



Nötningskyddande beläggningar – Tribologiska skikt

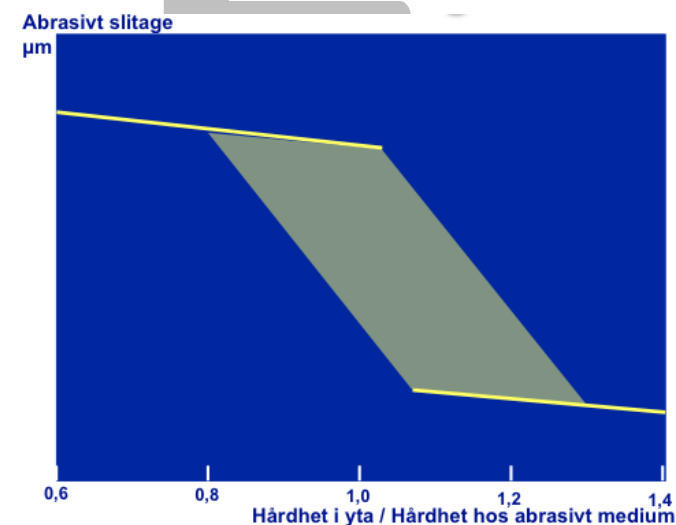
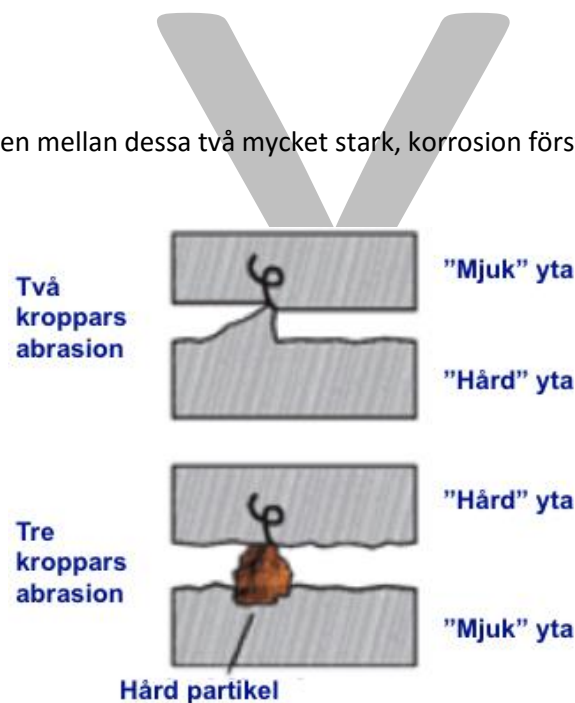
Vid sidan av korrosion anses av många nötningskador vara orsaken till de största kostnaderna för nedbrytning av konstruktioner. Bedömningar som gjorts i västländer har pekat på kostnader i storleksordningen 5 till 10% av resp. lands BNP. Man har samtidigt konstaterat att man kan minska dessa kostnader med minst 20% genom att göra rätt val av tillgänglig teknik. För att göra ett riktigt val är det dock viktigt att känna till den typ av påkänning som den aktuella konstruktionen är utsatt för. Tumregeln som ofta används "hårt är slitstarkt" gäller tyvärr inte alltid. Olika typer av slitage kräver olika egenskaper för att ge bästa skydd. Vetenskapen om nötningsmekanismer är om möjligt ännu mer komplicerad än den för korrosion och uppdelas i olika sammanhang på olika sätt, i t.ex. ISO 15243 som behandlar felorsaker i kullager beskrivs sex huvudmekanismer och femton underkategorier. En enklare uppdelning för slitagemekanismerna som här anses ge den information som krävs för att göra ett riktigt materialval är:

- ✚ Abrasivt slitage.
- ✚ Adhesivt slitage.
- ✚ Erosivt slitage.
- ✚ Kavitation.

Kombinerat slitaget med korrosion är oftast synergismen mellan dessa två mycket stark, korrosion försvagar material som enklare kan avlägsnas genom slitaget och frilägga "färsk" yta för korrosionen att angripa etc.

Abrasivt slitage orsakar materialförlust då material avlägsnas genom att det "skärs" ur ytan. Det kan röra sig om en grov yta som rör sig mot en annan och profiltopparna då plöjer ur material i anliggningsytan, s.k. två kroppars abrasion.

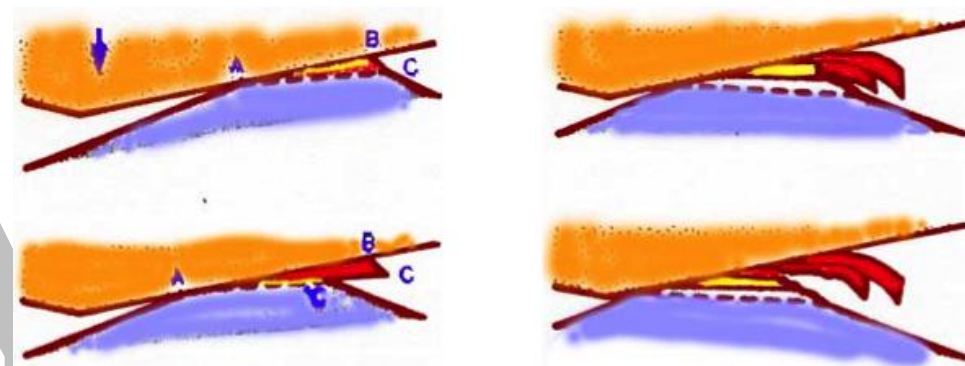
En andra variant är när en partikel mellan två ytor i relativ rörelse avverkar material ur en av ytorna, s.k. tre kroppars abrasion. "Grus i maskineriet". I dessa fall kan man tillämpa regeln att hårdare är mer slitstarkt. Det är dock mest intressant att öka hårdheten i ytan man vill skydda genom området från 0,7 till 1,3 gånger hårdheten i det nötande materialet, se figurer. Exempel på beläggningar som kan skydda mot abrasivt slitage är:



✚ Hårdkrom	> VHN 950
✚ Kemisk förnickling, ej värmebehandlat	≈ VHN 500
✚ Kemisk förnickling, värmebehandlat	> VHN 900
✚ Hårdanodisering	> VHN 1.200 (oxiden som skiktet är uppbyggt av)

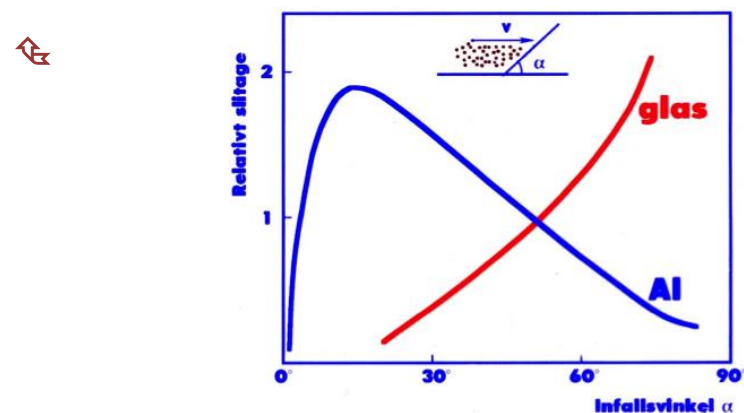
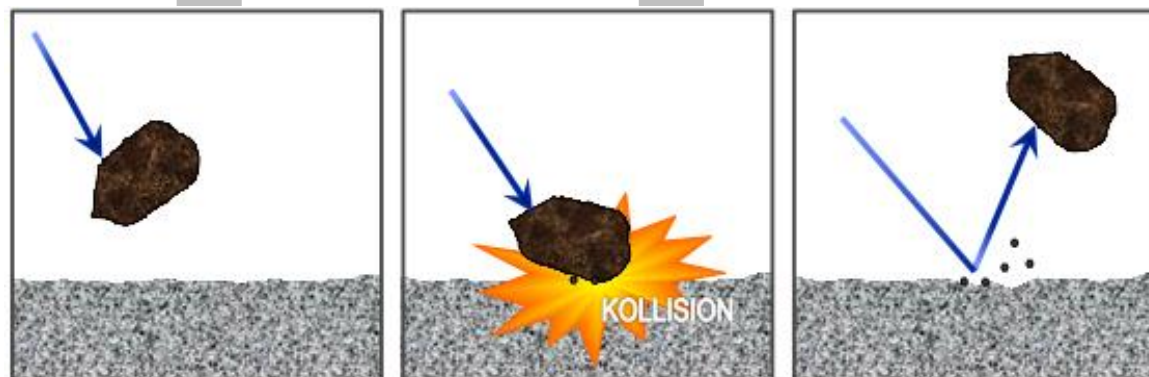
Som jämförelse kan nämnas att de hårdare partiklar som vanligen förekommer sällan är över VHN 900.

Adhesivt slitage är överföringen av material från en kontaktyta till en annan. Det sker i punktkontakter mellan två ytor i relativ rörelse genom att profiltoppar kall-svetsar ihop och sedan omedelbart skjuvas sönder och lämnar kallbearbetad metall och oxider på ytorna.



Erosivt slitage

är när material slås ur en yta av en partikelström som slungas mot den driven av gas eller vätska. Den samlade energin mot ytan (massan x hastigheten) är avgörande för om någon avverkning sker. Hårda material kan repellera partiklar med lägre infallsvinkel medan de i mjukare material kan "plöja bort" material lika som vid abrasivt slitage.



Miljöaspekter

Historik

Efter det att miljöskyddslagen infördes i slutet av 1960-talet bedrevs ett intensivt arbete med att bygga reningsanläggningar vid landets ytbehandlingsanläggningar. Sedan 1998-06 är det miljöbalken som reglerar förhållandena vid tillståndspliktiga verksamheter. Alla större ytbehandlingsverkstäder är tillståndspliktiga och står under översyn av länsstyrelse eller miljökontoret i den aktuella kommunen. Dessa utför tillsynsbesök för att kontrollera att villkoren för verksamheten efterlevs.

I tillståndet kan ett antal villkor ställas t.ex. beträffande:

- + Tillåten produktionsvolym.
- + Säker förvaring av kemikalier och avfall.
- + Intern kontroll för att säkerställa reningsprocesser.
- + System för att säkerställa att oförutsedda utsläpp ej skall kunna ske.
- + Rikt- och gränsvärden för metaller i avloppsvattnet.
- + Tillåten maximal volym av avloppsvatten.
- + Krav på periodisk besiktning av tredje part för att säkerställa funktion av systemet för miljökontroll.

Utsläppen från landets ytbehandlingsverkstäder till yttre miljö är idag så låga att det med största sannolikhet inte går att påvisa någon miljöpåverkan från dessa.

Aktuella frågor

Nickel

Sedan en tid tillbaka har frågor beträffande användning av nickel diskuterats. Det gäller då produkter som kommer i kontakt med huden hos människor. Överkänslighet mot nickel uppkommer efter att en person har sensibiliserats mot metallen efter kraftig exponering. Den i särklass vanligaste orsaken till detta är genom ”piercing” med metaller från vilka nickel frigörs i såret efter håltagningen. Toleransen mot nickeljoner i kontakt med huden efter detta är extremt låg och orsakar klåda, rodnader och i vissa fall sår. Har man en gång sensibiliserats är besvären livsvariga.

För begränsning av användningen av nickel inom EU finns det s.k. nickeldirektivet (se Reach-förordningen bilaga XVII punkt 27).

I detta fastställs att:

- + Nickelbeläggning får ej användas på produkter som kommer i direkt och långvarig kontakt med huden:
 - ◇ Örhängen, halsband, fingerringar, armband och kedjor.
 - ◇ Boetter, mobiltelefoner, klockarmband och spännen till armbandsur.
 - ◇ Nitar, knappar, spännen, blixtlås och metallmärken i kläder.
 - ◇ Glasögon, skärpspännen, hårspännen och diadem.

Nickeldirektivet omfattar dock **inte** handverktyg, mynt, handtag etc. då det ej är produkter som kommer i direkt och långvarig kontakt med huden.

Sexvärd krom (Cr⁶⁺, Cr(VI), kromtrioxid, kromsyra, kromater)

Sexvärd krom har med tiden visat sig ha mycket skadliga effekter på såväl hälsa som miljö. Giftigt för miljön och cancerframkallande i luftvägarna efter upprepade och långvarig inandning av partiklar eller aerosoler innehållande Cr⁶⁺. Det kan även orsaka kontaktallergier för t.ex. monteringspersonal som har hanterat produkter med sexvärd krom på ytan (d.v.s. kromaterade ytor). Därför har ämnet sedan början av 2000-talet enligt vissa EU-förordningar varit förknippat med restriktioner vid användning, även för ytbehandlingsändamål.

- ✚ Enligt ELV-direktivet är användandet av Cr⁶⁺ för fordon <3500 kg inte tillåtet.
- ✚ Enligt WEEE- och RoHS-direktiven får inte Cr⁶⁺ användas i elektronisk utrustning, vilket även innefattar all hemelektronik (datorer, hushållsmaskiner, etc.).

För tunna kromskikt för dekorativa ändamål finns idag processer baserade på trevärd krom som ej omfattas av restriktioner. Användningen av dessa har ökat och de är idag vanligt förekommande. Valet av denna process har i viss utsträckning hämmats av att utseendet ej är identiskt med det hos skikt producerade med Cr⁶⁺-process samt att det enligt vissa ej har lika bra prestanda beträffande t.ex. nötning.

Någon hårdförkromningsprocess fri från Cr⁶⁺ som har funnit praktisk användning har ännu inte utvecklats trots att det länge varit känt att ämnet kommer att beläggas med förbud och har klassats som mycket giftigt. Efter 21 september 2017 krävs auktorisation för användning av sexvärd krom. Ansökan för detta skall göras hos EU's myndighet ESCHA senast 21 mars 2016.

Viktigt att påpeka i detta sammanhang är att strikt skilja på förkromning och kromatering. Förkromning ger en metallisk kromyta som ej innehåller någon sexvärd krom och är godkänd att användas även i kontakt med livs- och läkemedel. Kromatskikt innehåller däremot alltid krom i sexvärd form (men skall givetvis inte förväxlas med andra passiveringsskikt fria från Cr⁶⁺).



Länkar

[Kemikalieinspektionen](http://www.kemi.se)

<http://www.kemi.se>

Kandidatförteckningen

[Naturvårdsverket](http://www.naturvardsverket.se)

<http://www.naturvardsverket.se>

Allmänna råd, ytbehandling

SYF

Är branschorganisation för kemisk och elektrolytisk ytbehandlingsindustri i Sverige

På SYF's hemsida:

Medlemsföretagen

Ytbehandlingsmetoder hos respektive företag

S Y F