

Val av stål vid varmförzinkning

Vilka krav skall ställas på stål för att de skall vara lämpliga att varmförzinka? Dessa krav bör analyseras redan på ritbordet, då materialvalet till projekterade konstruktioner skall göras. Genom att välja rätt stål kan varmförzinkningens goda möjligheter utnyttjas på bästa sätt, både då det gäller en lång underhållsfri livslängd och god ytfinish.

Inverkan av kisel och fosfor på stålets reaktivitet

$$\text{Si} < 0,03 \text{ och } \text{Si}+2,5\text{P} < 0,04 \text{ vikts-\%}$$

Vid gjutning av stål tillsätts antingen kisel eller aluminium för att binda syre, stålet blir tätat. Stål kan även gjutas utan dessa tillsatser och kallas då otätat. Otätat stål förekommer dock knappast nu för tiden, då det har en lägre kvalitet. Eftersom stålets kiselhalt (Si) är av mycket stor betydelse för reaktiviteten mellan järn och zink under varmförzinkningsprocessen, ska alltid kiselhalten beaktas vid val av stål för gods som ska varmförzinkas. Aluminiumtätade stål¹ lämpliga för varmförzinkning skall ha låg kiselhalt, under 0,03 viktsprocent. Kiseltätade stål med en kiselhalt från 0,15 viktsprocent fungerar bra vid varmförzinkning, men ger tjockare skikt än de aluminiumtätade stålen. Även fosforinnehållet (P) har en viss inverkan på reaktiviteten, framförallt då det gäller kallvalsade stål. Övriga legeringselement har ingen avgörande effekt på skiktet.

Sandelinområdet

Det finns ett intervall i kisel- och fosforinnehåll kallat "Sandelinområdet" (0,03-0,14 viktsprocent kisel + fosfor), inom vilket reaktiviteten vid varmförzinkning är mycket hög, och de bildade skikten blir grova och kan ha försämrade vidhäftning till stålet. Detta intervall skall undvikas vid val av stål för varmförzinkning, såvida man inte har tillgång till speciellt legerade zinkbad som kan motverka denna effekt.

Studier som på senare tid utförts av FORCE Technology i Danmark, har visat att det undre gränsvärdet för Sandelinområdet är lägre än vad som tidigare angivits inom branschen⁶. Dessutom har det visat sig att effekten av stålets fosforhalt är stor då det gäller kallvalsade produkter.

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

$$\text{Si}+\text{P} < 0,03 \text{ vikts-\%}$$

dvs stålet skall ha en sammanlagd kisel- och fosforhalt som är under 0,03 viktsprocent.

Om kraven på ytfinish är extra höga, t ex vid arkitektoniska konstruktioner, bör följande villkor för materialval användas då det rör sig om **kallvalsat stål**:

¹Stål med en aluminiumhalt över 0,02 viktsprocent.

(Observera koefficienten på fosforhalten i formeln ovan).

När det gäller varmvalsat stål är det kiselinnehållet som är det mest kritiska, medan fosforinnehållet är av mindre betydelse. Följande villkor rekommenderas vid höga krav på ytfinish för **varmvalsat stål**:

$$\text{Si} < 0,02 \text{ och } \text{Si}+2,5\text{P} < 0,09 \text{ vikts-\%}$$

(Observera koefficienten på fosforhalten i formeln ovan).

Aluminiumtätade stål med oväntat låg reaktivitet

Även de aluminiumtätade stålen innehåller låga halter av kisel, vilket påverkar reaktiviteten. På senare år har aluminiumtätade stål med extremt låg kiselhalt, under 0,01 %, och aluminiumhalt över 0,035 % blivit allt vanligare. Dessa stål har många positiva egenskaper när det gäller t ex skär- och formbarhet, men den låga kiselhalten i kombination med den höga aluminiumhalten gör att zinkskikten kan bli tunnare än vad som anges i varmförzinkningsstandarden SS-EN ISO 1461:2022. Om varmförzinkningen dessutom utförs i ett nickellegerat bad, vilket är vanligt idag då nickel anses tillföra flera positiva egenskaper, minskar detta reaktiviteten ytterligare med tunnare skikt som följd.

I EN ISO 1461:2022 anges följande metod för att hantera dessa stål: För föremål med godstjocklekar som överstiger 3 mm och är tillverkade av stål med sammansättningar $\leq 0,01$ % kisel som också har aluminiumhalter $> 0,035$ %, och uppvisar ultralåg reaktivitet vid förzinkning och därför inte kan uppfylla zinkbeläggningens minsta skiktjocklek enligt tabell 3 i standarden, ska värdena för nästkommande godstjockleksintervall som anges i kolumn 1 i tabell 3 i standarden tillämpas. Om en försäkran om överensstämmelse måste lämnas ska denna avvikelse anges, inklusive det justerade kravet på zinkbeläggningens minsta medelskiktjocklek som har tillämpats på provpartiet.

Om en avvikelse inte kan accepteras måste denna typ av stål blåstras före varmförzinkning.

Relationen mellan stålets kemiska analys och skiktets tjocklek

Aluminiumtätade stål, som har en kisel+fosforhalt under 0,03 viktsprocent, ger blanka skikt vid varmförzinkning. Kiseltätade stål med 0,15-0,21 viktsprocent Si fungerar

bra vid varmförzinkning men ger en högre skiktthjocklek. Önskas betydligt högre skiktthjocklekar, vilket kan vara ett önskemål i mer aggressiva miljöer, skall ett stål med kiselhalt över 0,22 viktsprocent väljas. I princip är det möjligt att förzinka stål med kiselhalter upp mot 0,35-0,40 viktsprocent. Man skall dock vara medveten om att dessa är mycket reaktiva och ger kraftig skiktstillväxt. Ett tjockt skikt är bra ur korrosionsskyddande synpunkt, men blir vanligtvis sprött och kan skadas vid hantering av godset, varför dessa höga kiselhalter inte är att rekommendera.

Viktigt att känna till om kallvalsade stål

Kallvalsade stål glödgas normalt efter valsningen. Vid denna värmebehandling kan kisel i stålets yta oxideras och därigenom bindas i oxidpartiklar. Denna så kallade inre oxidationen i godsytan medför att den fria halten kisel, som kan påverka reaktionen vid förzinkningen, blir lägre än stålets bulkanalys. Kallvalsat gods, som har en

kiselhalt i intervallet 0,15-0,21 viktsprocent, kan lätt komma in i det olämpliga Sandelinintervallet mellan 0,03-0,14 viktsprocent i samband med glödning. Stålet är då mycket reaktivt och får ett tjockt, sprött skikt med dålig vidhäftning till stålytan. Hur djup den inre oxidationen blir påverkas av temperatur, tid och atmosfär vid glödningen. Vanligtvis går det att beta bort den påverkade zonen, men i vissa fall har den blivit djupare och godset kan behöva blåstras före förzinkningen.

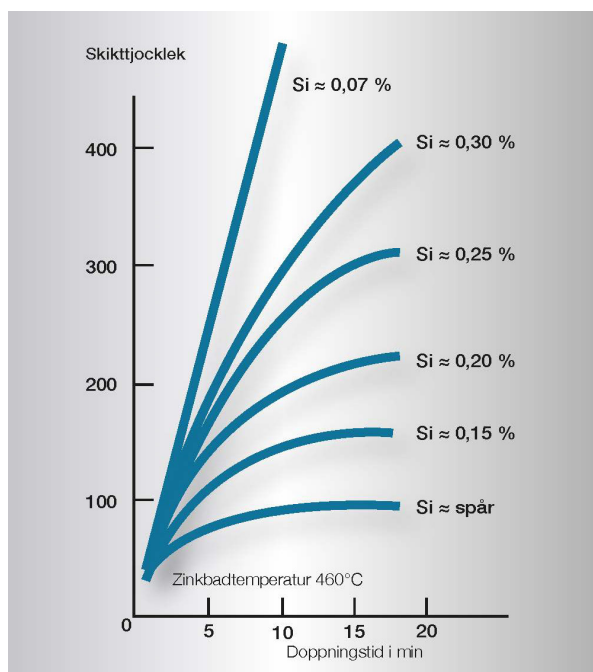
Varmförzinkning av andra stål

Höghållfasta stål

Höghållfasta stål blir allt vanligare i konstruktioner som varmförzinkas. Det finns egentligen ingen enhetlig definition på var gränsen till det höghållfasta området går, utan det är upp till materialleverantörens egen definition av sin produkt. Underförstått är det dock ofta stål med sträckgränser på 355 MPa och uppåt som anses tillhöra

Sammanställning över kisel- och fosforhaltens inverkan vid förzinkning av kall- respektive varmvalsat gods:

	Kallvalsat stål	Varmvalsat stål
Si+P < 0,03	Ok vid normala krav på ytfinish. Blanka skikt. Vid höga krav på ytfinish gäller: Si < 0,03 och Si+2,5P < 0,04	Ok vid normala krav på ytfinish. Blanka skikt. Vid höga krav på ytfinish gäller: Si < 0,02 och Si+2,5P < 0,09
0,03 < Si+P ≤ 0,14	Olämpligt!	Olämpligt!
0,15 ≤ Si ≤ 0,21	Tjockare skikt (Ca 115 µm på 6 mm godstjocklek.) Se upp för inre oxidation som ger förändrad reaktivitet.	Tjockare skikt (Ca 115 µm på 6 mm godstjocklek.)
0,22 ≤ Si ≤ 0,28	Betydligt tjockare skikt (Ca 165 µm på 6 mm godstjocklek.) Grå skikt.	Betydligt tjockare skikt (Ca 165 µm på 6 mm godstjocklek.) Grå skikt.
0,29 ≤ Si ≤ 0,35	Hög skiktthjocklek med viss risk för sprödhet. (Ca 215 µm på 6 mm godstjocklek.) Grå skikt.	Hög skiktthjocklek med viss risk för sprödhet. (Ca 215 µm på 6 mm godstjocklek.) Grå skikt.



Figur 1. Förhållandet mellan dopptid och skiktthjocklek för stål med olika kiselhalter. Kurvorna är medelkurvor baserade på både studier och praktisk erfarenhet. Betydande variationer kan förekomma mellan stål med samma kiselinnehåll men från olika charger. Kurvorna gäller för ett zinkbad utan tillsats av nickel.

denna grupp. Erfarenhet har visat att vissa höghållfasta stål är mindre reaktiva än förväntat vid varmförzinkning, medan andra istället är mycket reaktiva.

I det första fallet blir resultatet efter varmförzinkning att det bildade skiktet inte uppfyller tjocklekskraven enligt SS-EN ISO 1461. I det senare fallet är skikten istället betydligt mycket tjockare, och problem med dålig vidhäftning och flammiga ytor kan förekomma.

Generellt kan sägas att samma regler gäller för val av höghållfast stål som för val av vanligt låglegerat konstruktionsstål, dvs kisel- och fosforhalten måste beaktas. Vissa höghållfasta stål har en kiselhalt på 0,10 viktsprocent, dvs mitt i Sandelinområdet. Dessa är naturligtvis inte lämpliga för varmförzinkning, men brukar kunna beställas med en högre kiselhalt (0,20 viktsprocent) för varmförzinkning. Vissa höghållfasta stål genomgår dessutom olika typer av värmebehandlingar i samband med tillverkning, och kan därför få förändrad fri kiselhalt i ytan på grund av inre oxidation, vilket på-

verkar reaktiviteten.

Från varmförzinkningsbranschens sida pågår kontinuerlig forskning och utveckling för att få en bättre förståelse för hur de höghållfasta stålen fungerar vid förzinkning.

Höghållfasta stål med sträckgräns (R_{eH}) > 650 MPa kan i vissa fall få något sänkt utmattningshållfasthet efter varmförzinkning. Observera dock att stål utan ytbehandling, eller med ett dåligt valt korrosionsskydd, snabbt kan få lokala korrosionsangrepp (till exempel punktfrätning), vilket leder till en dramatisk sänkning av utmattningshållfastheten. Vid jämförelse får således varmförzinkat material ganska snabbt en bättre utmattningshållfasthet i korrosiv miljö.

Höghållfasta stål kan under vissa förutsättningar bli spröda i samband med bearbetning och/eller varmförzinkning. Speciella föreskrifter för varmförzinkning av höghållfasta stål finns därför. Rådgör med varmförzinkningsföretaget eller kontakta Nordic Galvanizers för ytterligare information.

Automatstål innehållande svavel

Dessa stål skall normalt inte varmförzinkas. Vid svavelhalter över 0,18 % etsas dels stålet kraftigt vid syrabehandlingen, dels blir järnzinkreaktionen så stark att stålet förstörs.

Rostfria stål

Till exempel AISI 304 eller så kallat syrafast rostfritt stål, AISI 316, varmförzinkas ibland då rostfria detaljer är hopsvetsade med vanligt konstruktionsstål. Zinksiktet kan då bli tjockt med mer eller mindre grå nyans, vilket beror på högre innehåll av kisel, krom och nickel. Obelagda områden, där zinken inte reagerat med stålytan, kan förekomma. Varmförzinkning av rostfritt material kan ge zinksprödhet, dvs zinkinträning i korngränserna, om spänningar finns i materialet, exempelvis från svets-

ning eller kallbäckning.

Härdade eller kallbearbetade stål

Härdade eller kraftigt kallbearbetade stål ($HR_c > 33$) kan uppta atomärt väte vid syrabehandlingen och uppvisa vätesprödhet. Visserligen kan väteutdrivning vid 275 °C under minst 4 timmar ske efter behandlingen, men då sådana stål också kan utsättas för zinksprödhet bör man avråda från varmförzinkning.

Skiktjocklekar

Skiktjockleken beror primärt på

- stålets kiselinnehåll
- stålets fosforinnehåll
- dopptiden i zinksmältan
- stålets ytråhet och tjocklek
- eventuell värmebehandling

I tabell 1 visas skiktjockleksskraven enligt varmförzinkningsstandarden SS-EN ISO 1461:2022. I tabell 2 visas högre skiktjocklekar enligt den nationella bilagan NA.

Stålets ytråhet inverkar i hög grad på skiktjockleken. Undersökningar har visat att sandblåstring eller slungrensning ger en avsevärd ökning av skiktjockleken på de flesta stål (80-100 %) ^{4,5}. Även repning och lokal deformation av ytskiktet vid kallformning påverkar ytråheten så att mycket varierande skiktjocklek kan uppkomma. I dessa fall kan även gråa områden uppträda på en i övrigt blank yta.

Flam-, plasma- eller laserskärning på kiseltätat stål liksom värmebehandling förändrar skiktjockleken vid varmförzinkning. I stålets ytskikt påverkas lätttoxiderbara element som kisel, vilket medför att stålet beroende på kiselinnehåll och hur detta påverkas kan få tunnare eller tjockare skikt än vad som förväntas. Enligt varmförzinkningsstandarden SS EN ISO 1461:2022 ska skiktjockleksmätningar inte utföras på skurna ytor eller

Godstjocklek i mm	Lokal skiktjocklek i μm	Medelskiktjocklek i μm
Stål > 6 mm	70	85
Stål > 3 - ≤ 6 mm	55	70
Stål ≥ 1,5 - ≤ 3 mm	45	55
Stål < 1,5 mm	35	45
Gjutgods ≥ 6 mm	70	80
Gjutgods < 6 mm	60	70

Tabell 1. Skiktjocklekar enligt standarden SS-EN ISO 1461:2022. Vissa stål kan få en lägre tjocklek än enligt tabellen, se information under "Aluminiumtätat stål med oväntat låg reaktivitet".

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

Tabell 2. Skiktjocklekar i μm enligt nationell bilaga NA till standarden SS-EN ISO 1461:2022. Om kunden önskar tjockare skikt än enligt standard, se tabell 1, skall detta överenskommas med varmförzinkningsföretaget. För att stålet skall vara tillräckligt reaktivt måste material med högre kiselhalt väljas, se tabell 3.

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

Tabell 3. Kiselhalter som krävs för att uppnå de skiktjocklekar som anges i tabell 2.

ytor belägna mindre än 10 mm från ändar, flamskurna ytor eller hörn.

Normal skiktjocklek kan uppnås genom att det oxiderade skiktet avlägsnas från stålytan före varmförzinkning. Vid skärning kan detta göras med slipning/blästring tills anlöpningsfärgen har försvunnit. En fördel med slipning av skärkanterna är att dessa kan brytas, vilket gynnar zinkskiktets hållfasthet på kanterna. Ibland räcker normal eller lite kraftigare betning för att avlägsna det påverkade ytskiktet efter värmebehandling. I vissa fall kan dock problem uppkomma, speciellt i kombination med ytråhetsförändringar vid kallbearbetningen. En kraftigare ytavverkning kan då behövas.

Zinkytans utseende

Varmförzinkning av stål utan eller med lågt kisel- och fosforinnehåll ger ljusa och blanka zinkskikt. I utomhus-atmosfär blir ytan så småningom matt och ljusgrå.

Stål med kiselhalter från 0,15 och upp till ca 0,22 -0,23 vikts-% ger normalt också ljusa skikt. Kiselhalter runt 0,25 vikts-% kan ge helt gråa partier eller ett grått nätverk på en i övrigt ljus yta. Om ett nickellegerat zinkbad används blir gods med kiselhalter upp till ca 0,22 vikts-% helt blankt.

Stål med högre kiselhalter (> 0,25) ger generellt matta, grå zinkskikt, vilka blir mörkare grå med stigande kiselinnehåll. De mörkgrå zinkskikten har endast estetisk betydelse, eftersom de ger samma, eller till och med bättre, korrosionsskydd (vid lika skiktjocklek) som de ljusa skikten. De gråa zinkbeläggningarna har normalt högre skiktjocklek och därmed längre livslängd.

De grå zinkskikten uppstår när järn-zinkfasen vuxit genom hela zinkskiktet. När en sådan zinkyta korroderar frigörs järnet och oxideras, vilket efter en tid kan ge ytan en rödbrun färgnyans. Den bruna färgen ökar gradvis då en större andel av järn-zinklagret korroderar. En brunfärgning av zinkytan betyder således inte att zinkbeläggningen har korroderat bort.

Zinkbeläggningar med ljusa skikt, som ytterst har ett lager av ren metallisk zink, kan också brunfärgas med

tiden då renzinklagret har korroderat bort. Brunfärgningen kommer dock betydligt senare beroende på renzinklagrets tjocklek. På stål med kisel+fosforhalt < 0,03 % brukar renzinkskiktet utgöra 30-50 % av totala skiktjockleken. Är man osäker på vilken kiselhalt stålet har, och därmed vilket utseende godset kommer att få, bör en provförzinkning av det aktuella stålet utföras.

Beställning av stål

För att få ett bra resultat vid varmförzinkning räcker det inte att enbart använda stålbeteckningen (CEN-standard eller handelsnamn) vid beställning och inköp av material. Man måste också ge gränser för stålets kisel- och i vissa fall även fosforinnehåll.

Tyvärr har man inte alltid fritt val när det gäller stålets legeringssammansättning. Vid beställning av större mängder stål är detta ofta inget problem, utan det kommer framför allt när man köper lagervara. Ju tidigare man kan kontakta stålleverantören, desto större möjligheter har denne att leverera rätt material för varmförzinkning.

Det är även viktigt att vara uppmärksam på stålytans tillstånd före förzinkning. Konstruktionsstål levereras ofta betat och anoljat, och vid t ex svetsning av stålet kan oljan bindas mycket hårt till ytan och vara svår att få bort vid den avfettning som föregår varmförzinkningen. Oljan måste dock avlägsnas för att undvika problem med svarta fläckar på godset efter förzinkning, och extra rengöring kan därför vara nödvändig.

Referenser

1. R Thomas, T Wallin, H Eriksson och A Hirn "Handbok i varmförzinkning", Stockholm (2008).
2. G Hänsel, 13th International Galvanizing Conference, European General Galvanizers Association, London (1989)
3. General Galvanizing Practice, The Galvanizers Association, London (1989)
4. O Borring Sørensen, "Varmförzinkning af sandblæst stål", Rapport nr. 80/04 d-e, Korrosionscentralen, København (1980).
5. A Hirn, "Varmförzinkning av svåra stål", Institutet för Metallforskning, Stockholm (1994)
6. T Jensen "Koldvalsede/koldformede stål med lave siliciumindhold, retningslinier for valg af stål. K5 17607/TJ. FORCE Technology, Danmark, 2006.

Vill du veta mer om varmförzinkning eller diskutera en specifik frågeställning?

Kontakta Nordic Galvanizers, branschorganisationen för varmförzinkningsföretag i Norden.