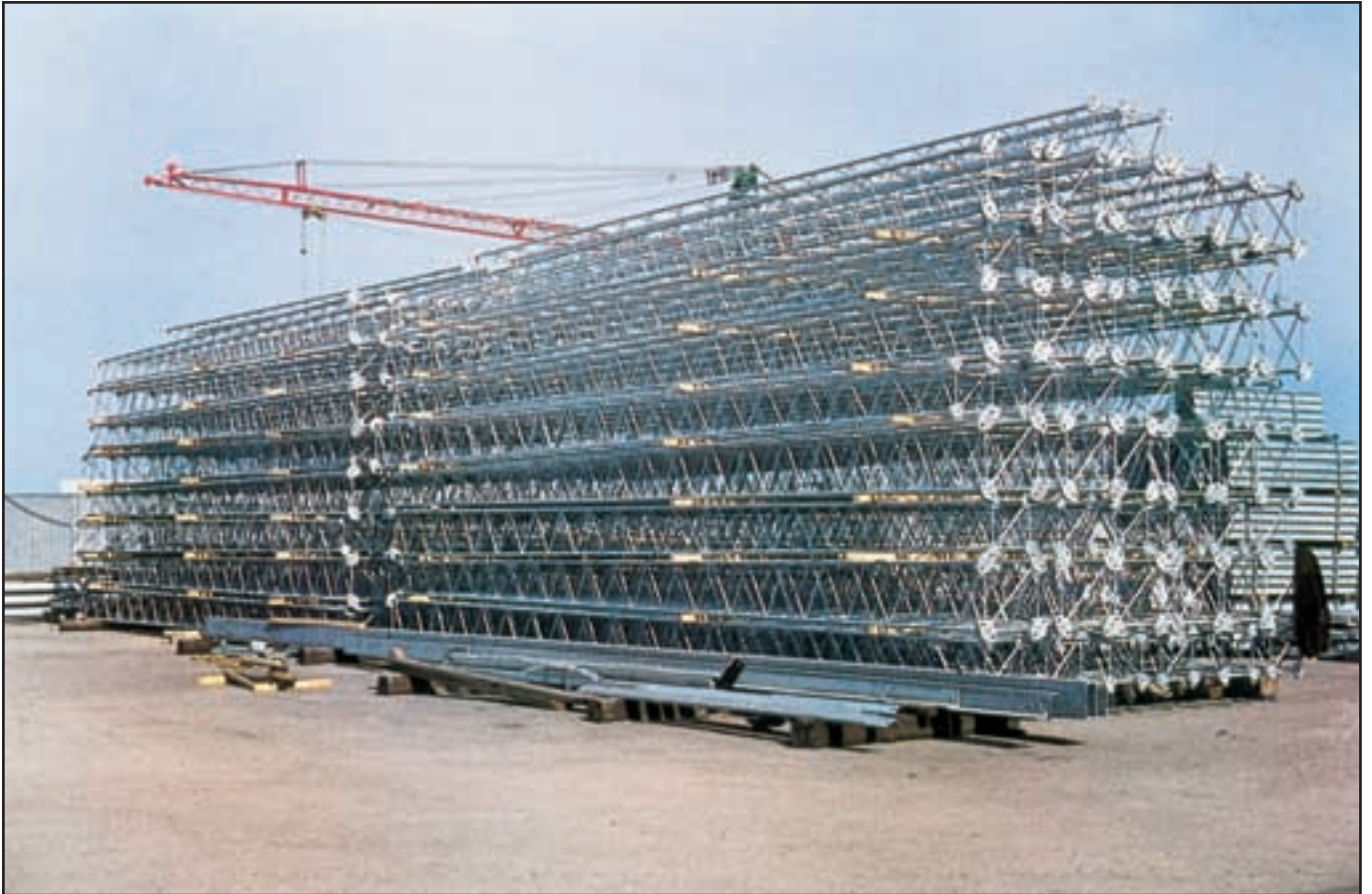


Valg af stål til varmforzinkning



Hvilke specielle krav skal man stille til stål, for at det skal være egnet til varmforzinkning? Spørgsmålet bør besvares allerede under projekteringen af såvel større som mindre stålkonstruktioner, for det får betydning for både levetid og udseende. Gennem korrekt stålvalg kan man udnytte de gode muligheder som varmforzinkning giver, hvad enten der ønskes en effektiv og vedligeholdelsesfri korrosionsbeskyttelse med særlig lang levetid, eller der ønskes lyse, ensartede zinkoverflader med god finish.

Retningslinier for valg af stål til varmforzinkning gives i det følgende.



Ståltyper

Anbefalingerne gælder for stål, der skal varmforzinkes som stykgods ved 450-460°C. Ved højtemperaturforzinkning (540-560°C), der anvendes til småemner/masse-gods, har stålets legeringsindhold ikke den samme afgørende indflydelse på zinkbelægningernes egenskaber.

Varmvalsede konstruktionsstål

I almindeligt anvendte konstruktionsstål er det primært indholdet af silicium (Si), der har betydning for zinkbelægningens struktur og lagtykkelse. Øvrige forekommende legeringselementer har ingen afgørende indflydelse på belægningen¹⁾.

Stålene er **egnede** til varmforzinkning, når følgende krav til siliciumindholdet er overholdt:

Stål S1 Uberoliget stål uden aluminium:
Si-indhold under 0,04 vægt%

Aluminiumberoliget* stål:

Si-indhold under 0,02 vægt%

Stål S2 Siliciumberoliget stål (med eller uden aluminium):
Si-indhold 0,15-0,25 vægt%

Stål S3 Siliciumberoliget stål (med eller uden aluminium):
Si-indhold 0,25-0,35 vægt%

Stål med siliciumindhold over 0,35 vægt% kan også varmforzinkes, men lagtykkelsen øges kraftigt med dypptiden. Tykke zinkbelægninger er generelt mere sprøde, og der opstår lettere belægningsafskalninger som følge af stød og slag under transport og håndtering. Sådanne stål skal derfor behandles særlig varsomt.

Stål, der er **uegnede** til varmforzinkning:

Stål S4 Stål uden aluminium:
Si-indhold 0,04-0,14 vægt%

Aluminiumberoliget stål:

Si-indhold 0,02-0,14 vægt%

Zinksmelten kan reagere meget kraftigt med disse stål under varmforzinkning og danne tykke, mørkegrå og sprøde belægninger, der let skaller af.

Koldvalsede stål

Koldvalsede stål skal have særligt lave indhold af silicium og fosfor (P) for at være egnede til varmforzinkning. I modsat fald kan jernzink-reaktionen blive meget kraftig og danne tykke, mørkegrå zinkbelægninger, der let skaller af. I litteraturen er der givet følgende håndregel²⁾, hvis anvendelighed er påvist i praksis gennem udførelse af et stort antal stålanalyser på FORCE Institutet:

Stål S5 **Si + 2 1/2 x P skal være mindre en 0,050 vægt%**

Det bemærkes, at ovenstående regel stiller store krav til analysenøjagtigheden.

Hvis muligt, bør varmvalset stål foretrakkes frem for koldvalset stål. Dette skyldes, at der undertiden – omend sjældent – forekommer partier af koldvalset stål, hvor revnedannelser i zinkbelægningen op mod ståloverfladen medfører en udpræget afskalningstilbøjelighed, selv om zinkbelægningen i øvrigt har normalt udseende og tykkelse. Årsagerne til disse afvigende resultater er undersøgt⁵⁾ hos Institutet för Metallforskning i Stockholm.

* Stål med aluminiumindhold over 0,020 vægt%.

Zinklagtykkelser

Andre stål

Automatstål er normalt ikke egnet til varmforzinkning. Indhold af svovl over 0,18 vægt% bevirker, at stålet ætzes kraftigt ved syrebejdningen, og at jernzinkreaktionen bliver så kraftig, at stålet ødelægges.

Rustfrie stål, som f.eks. AISI 304 eller såkaldt syrefast rustfrit stål AISI 316, varmforzinkes i visse tilfælde, hvor rustfrie dele er svejst på almindeligt konstruktionsstål. Zinklaget får ofte stor tykkelse og bliver mere eller mindre gråt, hvilket skyldes højt indhold af silicium, chrom og nikkel. Efter varmforzinkning kan der forekomme pletter uden zink på de rustfrie overflader, men erfaringsmæssigt kun i ubetydeligt omfang.

Rustfrit stål er tilbøjelig til at danne zinkfyldte revner ved zinkindtrængning i stålets korngrænser, hvor overfladen har trækspændinger, f.eks. svejdespændinger eller spændinger fra koldbukning. Det kan anbefales at foretage prøveforzinkning af aktuelle konstruktionsdetaljer, så zinkbelægningens tykkelse og udseende samt risikoen for zinkindtrængning kan bedømmes.

Hærdede eller stærkt koldbearbejdede stål med trækstyrke over 1.000 N/mm² (HRC over 31) kan optage atomart brint under syrebejdningen og udvise brintskørhed, hvis der ikke træffes særlige, modvirkende foranstaltninger. Stærkt koldbearbejdede stål indebærer risiko for revnedannelse ved zinkindtrængning, hvis stålet ikke er spændingsfriglødet eller normaliseret efter forarbejdning. Varmforzinkning som almindeligt lønarbejde frarådes derfor, hvis risiko for brud skal undgås.

Zinklagtykkelsen afhænger primært af

- stålets siliciumindhold
- dyppetiden i zinksmelte
- stålets overfladeruhed og godstykkelse

På koldvalset stål afhænger zinklagtykkelsen desuden af fosforindholdet.

Figur 1 viser, hvordan zinklagtykkelsen varierer afhængig af siliciumindhold og dyppetid ved varmforzinkning.

Tabel 1 og 2 viser minimumkravene til zinklagtykkelser ifølge DS/EN ISO 1461.

Særlig store zinklagtykkelser kan anvendes, hvor der ønskes en korrosionsbeskyttelse med meget lang holdbarhed uden vedligehold. Lagtykkelser på 100, 150 eller 200 µm kan opnås, hvis det på forhånd aftales med varmforzinkereren, og hvis stålet opfylder følgende krav til godstykkelse og siliciumindhold:

Krav til lokal lagtykkelse	Mindste godstykkelse	Siliciumindhold i stål
min. 100 µm	3 mm	0,20 - 0,25 %
min. 150 µm	6 mm	0,20 - 0,30 %
min. 200 µm	6 mm	0,25 - 0,35 %

Krav om minimum 100 µm lokal lagtykkelse kan også opfyldes på stål uden silicium, når stålet før varmforzinkning sandblæses kraftigt, så overfladeruheden er minimum R_a12^{1/2} µm.

Zinkbelægningernes holdbarhed under forskellige brugsforhold er beskrevet i informationsbladet *Varmforzinkning og korrosionskategorier*.

Stålets overfladeruhed har også en betydelig indvirkning på zinklagtykkelsen. Undersøgelser⁴⁾ har vist, at sandblæsning eller slyngrensning til en overfladeruhed på minimum R_a12^{1/2} µm giver en fordobling af zinklagtykkelsen på ubero-ligede og aluminiumberoligede stål (S1 og S5), men lavere ruhedsværdier kan også give en betydelig forøgelse af lagtykkelsen⁵⁾.

Zinkoverfladernes udseende

Slibning, rivning og lokal deformation af ståloverfladen ved koldbearbejdning kan også påvirke overfladeruhed samt jernzink-reaktion og resultere i øget zinklagtykkelse.

Flamme-, plasma- eller laserskårne kanter på siliciumberoliget stål vil have reduceret zinklagtykkelse efter varmforzinkning. Årsagen er, at ståloverfladens indhold af silicium under skæreprocesserne reagerer med ilt og danner siliciumoxid, der ikke indvirker på jernzink-reaktionen. Kanterne vil derfor få samme zinklagtykkelse som et stål uden silicium.

Normal zinklagtykkelse kan opnås ved at fjerne det oxiderede lag fra ståloverfladen før varmforzinkningen, hvilket i praksis kan udføres ved slibning, så kanterne er glatte og uden anløbningsfarver.

Varmepåvirkning af stålet før varmforzinkning – f.eks. ved varmebehandling eller varmbukning – kan medføre noget ændret zinklagtykkelse, men normalt kun i ubetydligt omfang.

Varmforzinkning af stål uden silicium (S1 og S5) resulterer i lyse og blanke zinkoverflader. Under udendørs brug får overfladerne efterhånden et mat og lysegråt udseende.

Stål med siliciumindhold på 0,15-0,22 vægt% (S2 fraregnet de højeste siliciumindhold) vil normalt også få lyse og ensartede zinkoverflader, forudsat at stålets godstykkelse ikke overstiger ca. 6 mm. Ved større siliciumindhold kan overfladerne blive delvist grå. Gråfarvningen kan forekomme i form af afgrænsede grå partier eller i form af et gråt netværk på iøvrigt lyse zinkoverflader.

Jernzink-reaktionen kan erfaringsmæssigt forløbe lidt hurtigere udvendigt på både runde og firkantede rør. Det kan derfor være nødvendigt at anvende stål med lidt lavere siliciumindhold, 0,15-0,20 vægt%, hvis der skal opnås ensartede, lyse zinkoverflader.

Stål med højere siliciumindhold (S3) vil generelt få mørkere grå zinkoverflader, idet mørkfarvningen øges med stigende siliciumindhold.

De mørkegrå zinkoverflader har kun betydning for udseendet, idet de giver samme effektive korrosionsbeskyttelse og i praksis korroderer med samme hastighed som de lyse zinkbelægninger. De grå zinkbelægninger har normalt større lagtykkelse og dermed længere levetid end de lyse zinkbelægninger.

De grå overflader opstår ved, at zinkbelægningens jernzinklegering når helt ud i belægningens overflade. Når zinkoverfladen korroderer, vil indholdet af jern blive frigivet og oxideret, hvilket efter nogen tid vil give overfladen en rødbrun farvenuance. Den brune farve øges gradvist efterhånden, idet zinkbelægningens jernindhold stiger ind mod ståloverfladen. Brunfarvningen af zinkoverfladen betyder således ikke nødvendigvis, at zinkbelægningen er borttæret.

Zinkbelægninger med lyse overflader består yderst af et sammenhængende renzinklag, hvis jernindhold er forsvindende. Ind mod ståloverfladen består belægningen af jernzinklegering, hvilket også med tiden vil resultere i brunfarvning, når renzinklaget er borttæret. Brunfarvningen vil dog

opstå senere end på stålene med mørkegrå zinkoverflader. På stålene S1 og S5 udgør renzink-laget typisk 30-50 % af belægningens samlede tykkelse.

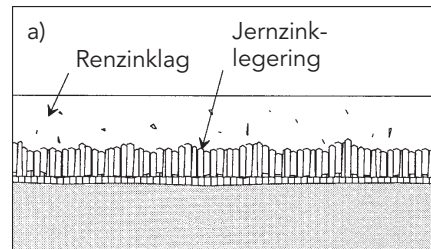
Hvis der er tvivl om, hvilket udseende zinkoverfladerne vil få, kan det anbefales at foretage prøveforzinkning af det aktuelle stål.

Stålanalyser

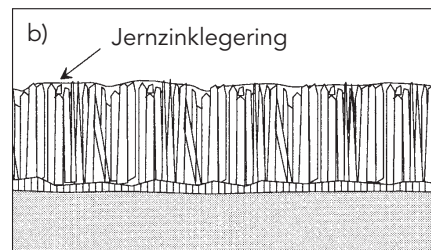
Spektral-analysemetoderne, der i dag anvendes til bestemmelse af stålets sammensætning, er hurtige og kan resultere i stor nøjagtighed, men bestemmer kun stålets totale indhold af silicium, dvs. både silicium, der er bundet som oxider, og silicium, der er opløst i stålet. Det er kun stålets indhold af opløst silicium, der har betydning for varmforzinkningen, mens silicium bundet som oxider er uden indflydelse.

Analyserne udføres desuden i henhold til de gældende analyse-standarder på overfladen, der fremkommer efter bortslibning af 1/4-del af stålets godstykkelse og altså ikke på ståloverfladen, der har betydning for jernzink-reaktionen ved varmforzinkning. Analyserne kan ikke udføres tilstrækkelig nøjagtig på en rå ståloverflade.

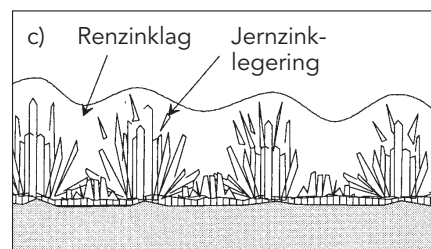
De tidligere givne grænser for stålets siliciumindhold er baseret på erfaringerne fra spektralanalyse, altså baseret på stålets totale indhold af silicium, og kan anvendes til bedømmelse af stålets egnethed til varmforzinkning i langt de fleste tilfælde. Der forekommer dog tilfælde, hvor stålet under fremstilling eller forarbejdning har været udsat for særlige forhold, der har ændret overfladens sammensætning i en grad, så det får betydning for zinkbelægningens udseende eller lagtykkelse, men uden at det kan konstateres ved spektralanalyse. Prøveforzinkning af stålet med de samme dyppetider, som skal anvendes til de færdige konstruktioner, kan vise hvilken lagtykkelse og hvilket udseende zinkbelægningen opnår.



a) Tværsnit (skematisk) gennem zinkbelægning på et stål uden eller med meget lavt siliciumindhold (under 0,02 vægt%). Belægningen har yderst et sammenhængende lag af renzink, der giver overfladen et blivende lyst, ensartet udseende.



b) Tværsnit gennem zinkbelægning på et stål med 0,27 vægt% silicium. Belægningen består næsten helt af jernzink-legering, og har kun små rester af renzink i overfladen. Overfladen er delvis mørkegrå.



c) Viser zinkbelægningens struktur på et sandblæst stål med meget lavt siliciumindhold (under 0,02 vægt%). Sandblæsningen bevirker, at der dannes lange søjleformede jernzink-krydstaller ud fra punkter i ståloverfladen. Zinkbelægningen bliver tykkere, og har stadig en stor andel af renzink sammenlignet med stål, der ikke er sandblæst.

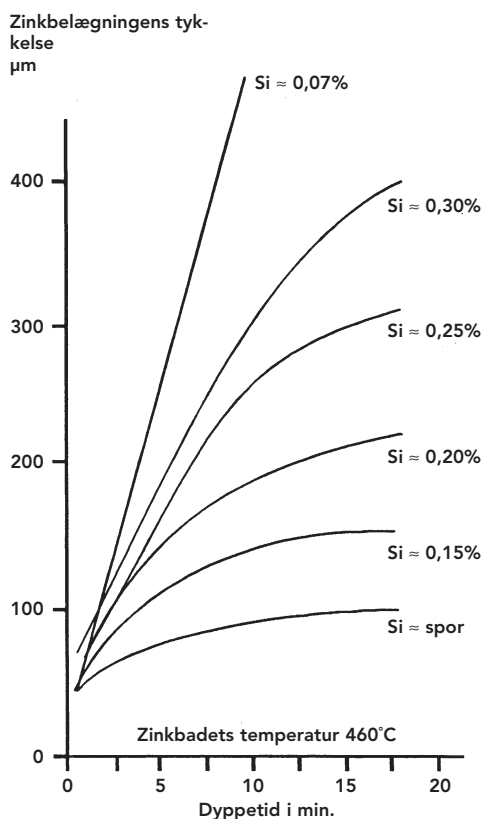


Fig. 1: Kurverne viser sammenhængen mellem dyppetider og zinklagtykkelse for stål med forskellige siliciumindhold. Kurverne er baseret på middelværdier, hvorfor der kan forekomme afvigelser herfra.

Tabel 1: Krav til zinklagtykkelse på ophængsgods jf. DS/EN ISO 1461

Emner med godstykkelse t	Lokal lagtykkelse min. (µm)	Middel lagtykkelse min. (µm)
Stål, 6 mm ≤ t ¹⁾	70	85
Stål, 3 mm ≤ t < 6 mm	55	70
Stål, 1,5 mm ≤ t < 3 mm	45	55
Stål, t < 1,5 mm	35	45
Støbegods 6 mm ≤ t	70	80
Støbegods, t < 6 mm	60	70

¹⁾ Stål med godstykkelse på 6 mm eller derover. Erfaringerne viser, at lagtykkelseskravene ikke altid kan opfyldes fuldstændigt på stål S1 uden silicium. Der bør således anvendes siliciumholdigt stål S2 (eller S3), hvis lagtykkelseskravene skal være fuldt opfyldte. Alternativt kan der foretages en kraftig sandblæsning af stålet før varmforzinking.

Tabel 2: Krav til zinklagtykkelse på centrifugegods jf. DS/EN ISO 1461

Emner med godstykkelse t eller diameter d	Lokal lagtykkelse min. (µm)	Middel lagtykkelse min. (µm)
Emne med gevind:		
20 mm ≤ diam. d	45	55
6 mm ≤ diam. d < 20 mm	35	45
diam. d < 3 mm	20	25
Andre emner (også støbegods):		
3 mm ≤ t	45	55
t < 3 mm	35	45

Referencer

1. R. Thomas, T. Wallin, *Håndbog om varmforzinkning*. Foreningen af Danske Varmforzinkere (1989).
2. G. Hänsel, *13th International Galvanizing Conference*, European General Galvanizing Assoc., London (1989).
3. *General Galvanizing Practice*, The Galvanizers Association, London (1979).
4. O. Borring Sørensen, *Varmforzinkning af sandblæst stål*, Rapport nr. 80/04 d-e, Korrosionscentralen, København (1980).
5. A. Hirn, *Varmforzinkning af vanskelige stål*, Institut för Metallforskning, Stockholm (1994).

Bestilling af stål

Kravene som varmforzinkningen stiller til stålvalget opfyldes ikke af de kvalitets- og styrkekrav, som stålstandarderne angiver. Det er ikke tilstrækkeligt kun at angive f.eks. S235JR eller EN/ISO 10025, hvis stålet skal være egnet til varmforzinkning. Specifikationen bør også angive grænser for stålets indhold af silicium og evt. fosfor, samt at stålet skal være velegnet til varmforzinkning som stykgods ifølge den aktuelle varmforzinkningsstandard.

Desværre er man normalt ikke fuldstændig frit stillet ved valg af stålets siliciumindhold. Det er først og fremmest ved køb af lagervarer, at det kan være vanskeligt at få det ønskede, mens der ved bestilling af større partier stål normalt ikke er problemer. Stålleverandøren bør kontaktes i god tid, så denne har mulighed for at fremskaffe det rette stål til varmforzinkning.

Retningslinier for valg af stål kan rekvireres hos:

Medlem af Foreningen af Danske Varmforzinkere

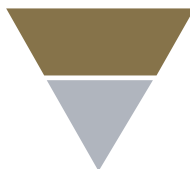
Yderligere information ved henvendelse til:



Zinc Info Norden AB

Västra vägen 11 B, SE-16961 SOLNA
(Nordic Galvanizers Association, Sweden)
Tel/Phone: +46 (0)8 4466760 • Fax: +46 (0)8 4466767

www.zincinfo.se



Foreningen af Danske Varmforzinkere

Tel/Phone: +45 70 26 88 89

www.zincinfo.dk