



GLASS OG
FASADEFORENINGEN

SPONTANGRANULERING



Veileder for tiltak mot
Spontangranulering i termisk herdet glass

Spontangranulering i termisk herdet glass

Glass til bygningsformål (floatglass) er et naturprodukt bestående av blant annet sand, soda og kalk som smeltes ved ca. 1500°C. Urenheter som fremtrer som små punkter i glasset kan ikke unngås fullstendig. Urenhetene kan ha karakter av flekker, luftblærer eller små fremmedlegemer, for eksempel nikkesulfid-inneslutninger, som er blitt fanget i glassmassen under smeltingen.

SPONTANGRANULERING I HERDET GLASS

Spontangranulering er et marginalt problem i forhold til det betydelige volumet av herdet glass som totalt sett leveres.

Herdet glass kan gjennomgå en egen prosess for å redusere risikoen for senere spontangranulering, en såkalt Heat-soak test. Det er ikke krav om at herdet glass skal gjennomgå en slik prosess.

NIKKELSULFID-INNESLUTNINGER, NIS OG HEAT-SOAK TEST

Termisk herdet glass kan knuse uten ytre påvirkning som for eksempel hærverk, steinsprut eller annen mekanisk påvirkning. Dette kan oppstå på grunn av en nikkesulfid-inneslutning (NiS) i glasset, og skjer spontant. Derfor brukes begrepet «spontangranulering».

HVORDAN DANNES NIKKELSULFID (NIS)?

Nikkelsulfid dannes under smeltingen av glasset ved at svært små mengder nikkel i råmaterialet forenes kjemisk med svovel og metaller. Så lite som 0,1 g nikkel kan forårsake 50.000 NiS-partikler med en størrelse på 0,1 millimeter som kan føre til spontangranulering.

Partiklenes kjemiske størrelse varierer avhengig av forholdet mellom svovel og nikkel, men selv forekomst av jern og selen påvirker inneslutningens egenskaper. NiS-partikler forekommer i to stabile krystallfaser: α - og β -fase. Ved høy temperatur, over 380°C, er α -fasen stabil, og ved lavere temperaturer er β -fasen stabil.

Under glassmeltingen vil NiS-partiklene være i sin høytemperaturfase (α -fase).

NEDKJØLING

Under nedkjøling i herdeprosessen skjer det ingenting før temperaturen på glasset (og inneslutningen) er lavere enn 380°C, det vil si den temperaturen hvor α -fasen blir ustabil.

Da begynner en faseendring av nikkesulfiden til β -fasen, en prosess som tar tid og er svært temperaturavhengig. Jo høyere temperatur, desto raskere går faseendringen.

Når glasset er ferdig nedkjølt, er derimot ikke faseendringen fullført. Den fortsetter til NiS-partikkelen er endret til sin stabile lavtemperaturfase (β -fase). Ved lave omgivelsestemperaturer tar dette svært lang tid. Ved overgang fra α - til β -fasen øker NiS-partikkelen i volum med ca. 2-4%. For vanlig floatglass forårsaker dette ingen problemer.

HERDING

Ved termisk herding av glass varmes glasset opp til over 600°C. Dette innebærer at NiS-partikler endres fra sin stabile lavtemperaturfase (β -fasen) til α -fasen.

Ved den etterfølgende raske nedkjølingen til romtemperatur skjer ingen faseendring, noe som betyr at vi har en ustabil inneslutning ved lav temperatur.

Den påfølgende faseendringen vil skje svært langsomt samtidig som volumet av partikkelen øker.



SPENNINGSFORDELING

Ved termisk herding av glass oppstår en parabolformet spenningsfordeling gjennom glasset. I overflatesjiktet ($1/5$ av glasstykkelsen fra hver side) er det trykkspenninger, maksimalt ca. 100 MPa, mens det i midten av glasset er strekkspenninger, ca. halvparten av den maksimale trykkspenningen i overflaten, altså maksimalt ca. 50 MPa.

Siden glasset ikke gir noen plastisk formendring som kan utjevne trykket fra den ekspanderende inneslutningen, øker spenningsene så lenge faseendringen pågår.

Det er beregnet at trykket som denne volumendringen forårsaker, ved fullstendig faseendring, kan bli mer enn 800 MPa i grenseområdet mellom glass og inneslutning.

Denne høye påvirkningen kan forårsake mikroskopiske sprekker i glasset nettopp i grenseområdet mellom NiS-inneslutning og glass.

NÅR SPONTANGRANULERER GLASSET?

Hvis inneslutningen ligger i glassets overflate, skjer det ingenting, men hvis der ligger midt i glasset (halv tykkelse fra overflaten), hvor det er høy strekkspenning, kan de oppståtte mikrosprekkene forårsake granulering.

Foruten inneslutningens plassering i forhold til glasstykkelsen finnes andre faktorer som kan øke spenningen i glasset og dermed utløse granuleringen, som for eksempel soloppvarming (NiS har større varme-

utvidelseskoeffisient enn glass) og økning av strekkspenning for eksempel på grunn av vindlast.

Ofte vil de spontane bruddene skje innenfor de første 2-3 årene, men det kan gå mer enn 10 år og helt opp til 30 år før det skjer et spontant brudd. Himmelfretningen glasset er montert mot kan også være med å påvirke dette.

Størst risiko er det mot øst og sør hvor slagskygger kan forårsake kritiske temperaturforskjeller.

HVORDAN UNNGÅ SPONTANGRANULERING?

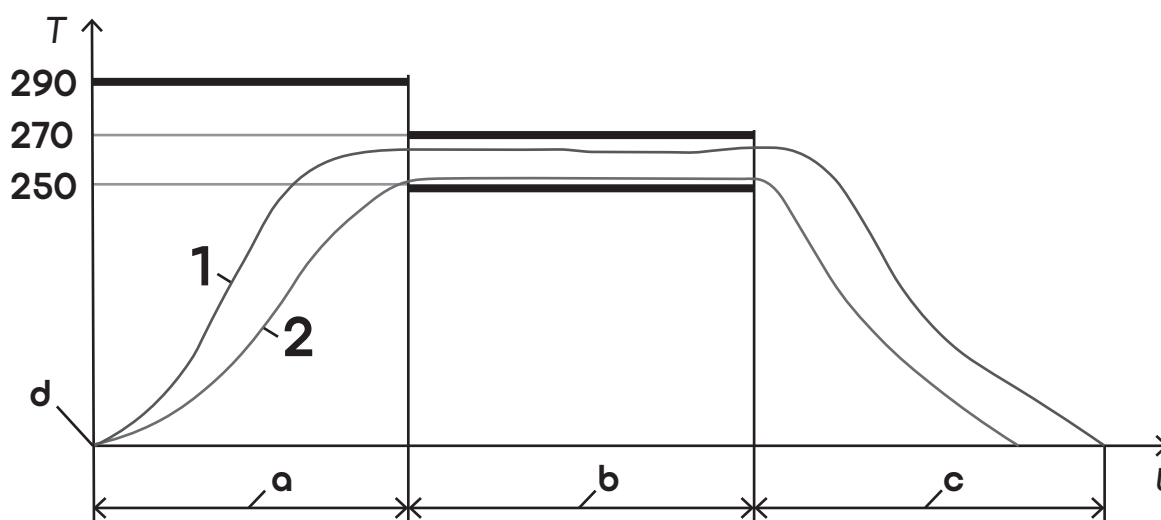
Til en viss grad kan man motvirke NiS-dannelsen i glassmelten ved små tilsetninger av diverse sinksalter (sink-sulfat, sinknitrat).

Den mest effektive metoden for å redusere risikoen for spontangranuleringer i herdet glass er en korrekt utført Heat-soak test før glasset forlater fabrikken. En Heat-soak test er en destruktiv test som sorterer bort glass som kunne granulert på et senere tidspunkt.

Som nevnt ovenfor, skjer faseendringen fra høytemperaturfase (α) til lavtemperaturfase (β) når glasstemperaturen synker under 380°C . Endringshastigheten er svært temperaturavhengig; jo lavere temperatur, desto langsommere går endringen.

For å fremskynde faseendringen varmetestes glasset ved at det oppvarmes og kjøles ned i henhold til en bestemt syklus. Eventuelle kritiske inneslutninger skal da ha gjennomgått en fullstendig faseendring og dermed forårsaket granulering.

I prosessen til en Heat-soak test er det en oppvarmingsfase, konstanttemperaturfase og en nedkjølingsfase.



T temperatur i glasset, °C

t tid, t

1 første glasset som når 250 °C

2 siste glasset som når 250 °C

d starttemperatur

a oppvarmingsfasen

b konstanttemperaturfasen

c nedkjølingsfasen

Figur 1: Heat-soak test. Figuren viser temperatursyklusen for glass i henhold til NS/EN 14179-1:2016 Bygningsglass – Varmeprøvd termisk herdet kalksodasilikat sikkerhetsglass – Del 1: Definisjon og beskrivelse

HEAT SOAK TEST

På kurveforløpet i **Figur 1** vises temperatursyklusen for glass i henhold til NS/EN 14179-1:2016 Bygningsglass – Varmeprøvd termisk herdet kalksodasilikat sikkerhetsglass – Del 1: Definisjon og beskrivelse.

Konstanttemperaturfasen skal vare minst to timer ved $260 \pm 10^\circ\text{C}$. Det gjelder glassets temperatur, og det gjelder for alt glass i testen.

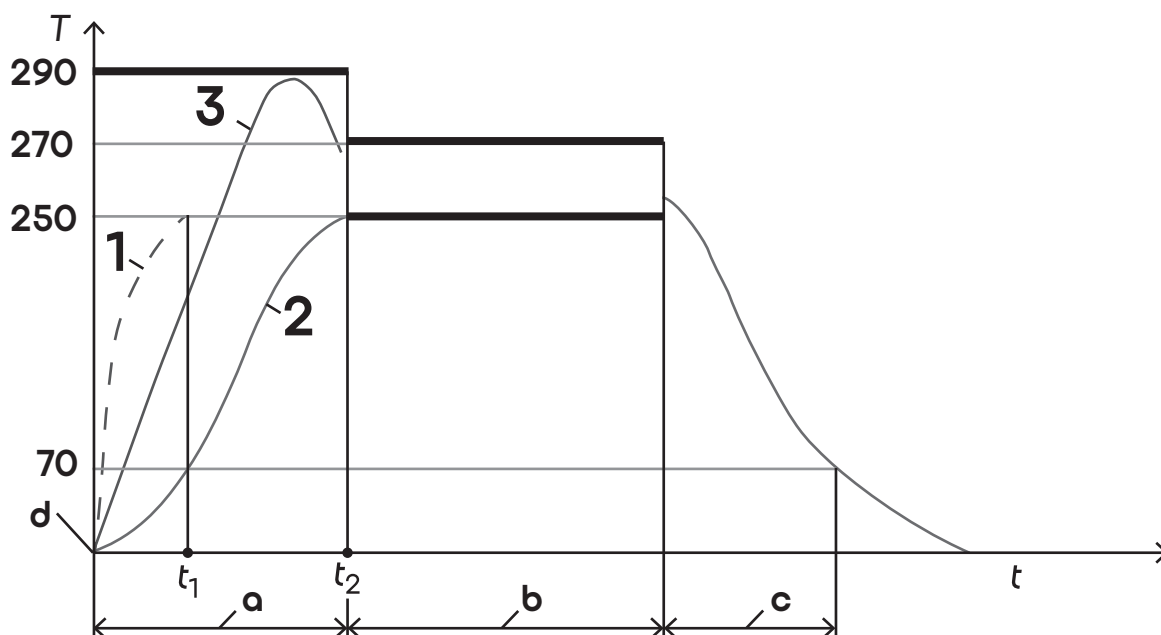
Det glasset som ikke har oppnådd den korrekte temperaturen under den angitte tiden og som skulle ha granulert hvis det hadde gjennomgått temperatursyklusen på en korrekt måte, kan granulere ved en senere anledning.

Figur 2 viser kalibreringskurven for varmetest. Man skal merke seg at temperaturen ikke må overstige 290°C , da man har konstatert at allerede ved 290°C snur faseendringen og går mot α -fasen.

Dessuten skal glasset være forskriftsmessig nedkjølt etter herding, og ved den påfølgende varmetesten må temperaturstigningen ikke være raskere enn ca. 2°C per minutt.

Å la glassets nedkjøling forlenges med et visst temperaturintervall i sammenheng med herding (on-line Heat-soak) skaper ikke de rette forutsetningene for den nødvendige faseendringen.

Proessen med Heat-soak test skal overholde tids-/temperaturforutsetningene som vist i Figur 2 både ved maksimal og minimal belastning.



T temperatur i glasset, °C

t tid, t

t₁ tidsforløpet for det første glasset til å nå 250 °C

t₂ tidsforløpet for det siste glasset til å nå 250 °C

1 første glasset som når 250 °C

2 siste glasset som når 250 °C

3 glassets temperatur

d starttemperatur

a oppvarmingsfasen

b konstanttemperaturfasen

c nedkjølingsfasen

Figur 2: Kalibreringskurven for varmetest.

REKLAMASJON

Denne veilederen beskriver hvorfor nikkelsulfid-inneslutninger (NiS) utgjør en risiko for spontangranulering i termisk herdet glass, og hvorfor denne risikoen ikke kan utelukkes. Risikoen for spontangranulering kan imidlertid reduseres ved å utføre en Heat-soak test. Siden det i Norge ikke er et krav om å gjennomføre en slik test, er det opp til for eksempel prosjekterende eller kunde å eventuelt kreve en Heat-soak test for å minimalisere risikoen for senere spontangranulering.

Spontangranulering i termisk herdet sikkerhetsglass på grunn av nikkelsulfid-inneslutninger kan ikke utelukkes, og gir derfor på generelt grunnlag ikke rett til reklamasjon og erstatning.

Termisk herding av floatglass skjer ved oppvarming og rask avkjøling. En slik temperaturbehandling tilfører glasset spenninger som øker dets styrke mot korttidslaster og temperaturforskjeller sammenlignet med ubehandlet glass.

VEILEDER FRA GLASS OG FASADEFORENINGEN.

Veileder for *Spontangranulering i termisk herdet glass*

Utgitt: Juni 2025.

Denne veilederen erstatter alle tidligere publikasjoner, utgitt av Glass og Fasadeforeningen, som omhandler *Spontangranulering i termisk herdet glass*.

Denne veilederen har tilslutning fra Glass og Fasadeforeningens medlemsbedrifter. Virksomheter og organisasjoner uten formell tilslutning til Glass og Fasadeforeningen kan kun benytte denne veilederen som referanse for sine produkter og tjenester etter nærmere avtale med utgiver. Ved behov for ytterligere råd og veiledning om *Spontangranulering i termisk herdet glass* kontakt Glass og Fasadeforeningen.

Glass og Fasadeforeningen (GF) er en interesseorganisasjon for bedrifter med virksomhet innenfor forvaltning, rådgivning, prosjektering, produksjon, bearbeiding, montering og handel/salg av glass- og tilhørende produkter.



GLASS OG
FASADEFORENINGEN

GF Arena

Glynitveien 25, 1400 Ski
+47 47 47 47 05
post@gffn.no

www.glassportal.no