

Brintskørhed

White Paper

Brintskørhed

af Peter Witzke

Assembly Technology Expert
Bossard Group

www.bossard.com



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

BRINTSKØRHED

Introduktion

Brintskørhed er et alvorligt problem, som mekanisk nedbryder en række forskellige konstruktionsmaterialer. Selvom det blev rapporteret første gang for mere end hundrede år siden (1875) og fænomenet har undergået intensive undersøgelser i årtier, er der stadig mange uvisheder.

Brintskørhed kan opdeles i to typer. En er den miljømæssige påvirknings type, hvor brintskørhedsfejl skyldes tilførslen af brint fra miljøet, normalt gennem korrosion. Den anden, og mest almindelige, er brintskørhedsbrud, der skyldes tilførslen af brint fra processer under produktion. Denne type betegnes som intern brintskørhed.

Kompleksiteten af brintskørhedsfrakturer er langt større end normale frakturprocesser, og det er ikke alle metaller og legeringer, der er påvirkede heraf. De mest sårbare materialer er bl.a. højstyrkestål, titanium- og aluminiumlegeringer. Indtrængning af brint i metallerne og legeringerne er selvfølgelig et vigtigt element i brintskørhed. Denne proces alene er en yderst kompliceret proces, og hastigheden af brintindtrængning afhænger af mange forskellige ting. Kilder af brint kan udover korrosion også omfatte stålproduktionsprocessen, nedbrydning af upassende smøremidler, varmebehandlingsatmosfærer, buesvejsning samt maskinbearbejdning i våde omgivelser. Størstedelen af processkørhedsrisici har vist sig at være elektrokemisk overfladebehandling, såsom syrebade og galvanisering.

BRINTSKØRHED

Grundlæggende om brintskørhed

Brintskørhed i befæstelselementer er typisk forbundet med ulegeret og legeret stål, men som nævnt tidligere kan det også forekomme i andre metaller og legeringer. Befæstelselementets hårdhed er en vigtig faktor. De fleste standarder, der vedrører fænomenet brintskørhed, erklærer, at risikoen starter ved en hårdhed på over 320 HV. Nogle eksperter mener dog, at en hårdhed på over 360 HV er tærsklen, hvorefter der kræves yderligere handling til at håndtere brintskørhedsrisici, og nyere forskning og forskellige praksiseksempler understøtter dette.

Fejl på et befæstelselement, som skyldes brintskørhed, er et forsinket, sprødt brud. Brud sker kun efter montering og kun for befæstelselementer, der udsættes for trækbelastninger (en sjælden undtagelse er visse fjederdele, der indeholder resterende trækbelastning fra koldformning, som kan gå i stykker uden montering). Graden af trækbelastning i befæstelselementet er en afgørende faktor, da befæstelselementet vil være mere modtageligt for brintskørhedsfejl ved højere belastninger. Brud kan dog også forekomme på befæstelselementer, der udsættes for trækbelastning langt under trækstyrken. Fejlen forekommer nogen tid, efter befæstelselementet er monteret. Typisk monteres et befæstelselement under montage, og der kan findes brudt timer senere, eller inden for de næste par dage. Det sker sjældent sekunder efter montering og normalt ikke senere end få måneder efter, men når det sker, sker det pludseligt, uden advarsel eller synlige tegn. Fejl, der forekommer under drift, er tit en dyr affære og kan endda til tider være katastrofale.

Visuel inspektion af bruddet viser et område uden strækbarhed, hvorimod en anden del kan vise et sejhedsbrud, der stammer fra det endelige brud på befæstelselementet, hvor det resterende tværgående området ikke længere kunne modstå belastningen. Skørhedsbruddet viser stort set samme syn som interkrystallinske brud, der stammer fra andre årsager. Undersøgelser foretaget af erfarne materiale teknikere vha. scanningselektronmikroskop er kritiske til identifikation af brintskørhed i fejlanalysen.

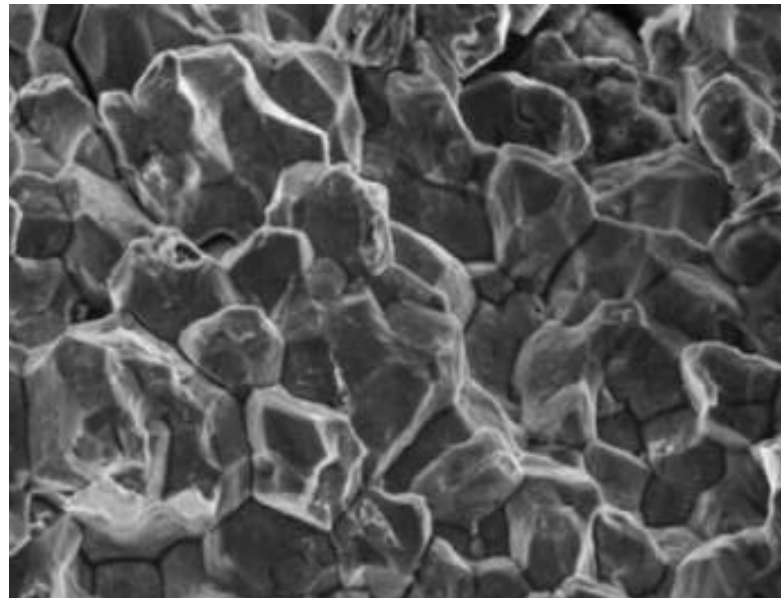


Fig. 1: Interkrystallinsk brud forårsaget af brintskørhed i bolt

Følgende processer vil finde sted i tilfælde af brintskørhed:

1. Indtrængning af brint i befæstelseselementet
2. Spredning af brint til områder med høj trækbelastning i befæstelseselementet
3. Brintudskillelse til korngrænser, indeslutninger, dislokationer og andre fælder
4. Opnåelse af kritisk grad af brintkoncentration
5. Revnedannelse

Punkt 2 til 5 vil fortsætte, indtil befæstelseselementet ikke længere kan modstå belastningen og til sidst vil knække.

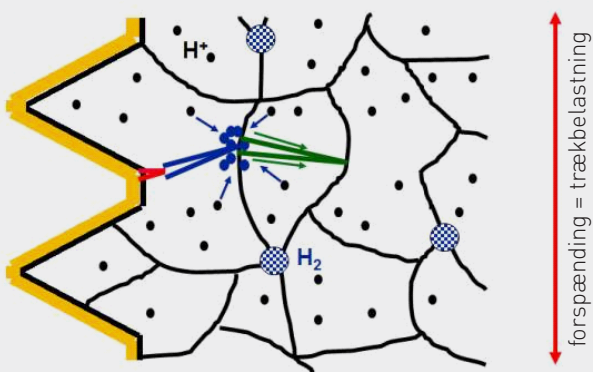


Fig. 2: Revnedannelse i et befæstelseselement

BRINTSKØRHED

Indtrængning af brint i befæstelseselementet

Som nævnt tidligere kan brint stamme fra forskellige kilder. I de fleste tilfælde, hvor der opdages brintskørhedsfejl i befæstelseselementer, kan de største medvirkende årsager i produktionsprocessen føres tilbage til syrebade og efterfølgende galvanisering.

Elektrolytter, der bruges til galvanisering, er de seneste år blevet optimeret til højere effektivitet, hvilket har reduceret genereringen af brint. Der er dog ingen garanti for, at høj effektivitet ikke vil medføre skørhed.

Inden galvanisering kan finde sted, skal befæstelseselementerne have en aktiv overflade og være kemisk rene. Rengøringsprocessen er typisk basisk affedtning efterfuldt af syrebåd til at fjerne varmebehandlingsskaller, rust og andre oxidfilm. Basisk og mekanisk rengøring bør bruges til dele med meget høj styrke, men er en langsom og dyr proces.

Syrebade genererer en betydelig mængde nydannede brintatomer (H), som dannes på befæstelseselementets overflade. Nedsænkningstid afhænger af overfladetilstanden ved modtagelse, og bør være minimumvarigheden og altid ved brug af inhibitorer. Nogle af brintatomerne vil samles og forme et H₂-molekyle, som kan ses som bobler i syren. Noget af den nydannede brint vil blive absorberet af stålet. Den samlede mængde brint, der absorberes af befæstelseselementet, er påvirket af tiden i syrebadet og syrens kemi.

Næste trin er galvaniseringen, hvor beskyttelsesmaterialer (f.eks. Zn, Ni eller Cr) i form af ioner påføres på befæstelseselementet via en katodisk reaktion i en elektrolyt. Også denne proces genererer brint, som kan absorberes af befæstelseselementet. ISO 4042 "Befæstelseselementer med galvanisk belægning" er referencestandarden og vejleder i forebyggelsen af brintskørhed.

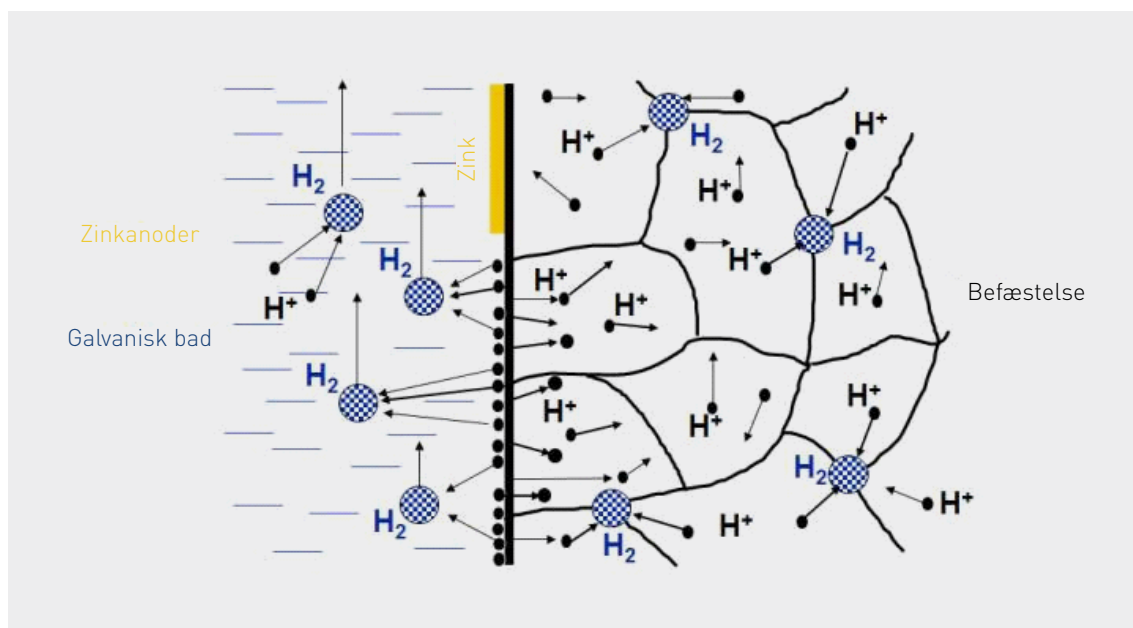


Fig. 3: Galvanisering

BRINTSKØRHED

Spredning af brint til områder med høj trækbelastning i befæstelseselementet

Brint opløses i stålbefæstelseselementet til brintatomer (H). Absorberede brintatomer er yderst bevægelige og kan sprede sig i befæstelsesmateriale over store afstande. Inde i befæstelseselementet vil brintatomer forsøge at spaltes til områder med høj trækbelastning, og med tiden

vil koncentrationen af brint stige i disse områder. Hvis to tilstødende atomer samles igen og danner molekylær brint (H₂) i en fælde, vil den belastning, der kræves til bevægelse, blive meget større og molekylet vil fastholdes i dette punkt.

BRINTSKØRHED

Brintudskillelse til korngrænser, indeslutninger, dislokationer og andre fælder

Som tidligere nævnt er brud, forårsaget af brintskørhed, interkrySTALLINSK. Inde i befæstelseselementet har brinten tendens til at spaltes til korngrænser, indeslutninger, dislokationer og andre

fælder. Med tiden, som brinten spreder sig gennem befæstelseselementet, stiger udskillelsen i disse fælder.

BRINTSKØRHED

Opnåelse af kristisk grad af brintkoncentration

En højere brintkoncentration resulterer i lavere kritisk belastning, hvor der kan forekomme brud, og en lavere brintkoncentration resulterer i højere kritisk belastning, hvor der kan forekomme brud. Bevægelige brintatomer vil spaltes til overfladefejl, indeslutninger, dislokationer og andre defekter, hvor trækbelastninger er høje, og konsekvensen er, at disse områder svækkes. Når kombinationen

af brintkoncentrationen og mængden af belastning når det kritiske punkt, vil der forekomme brud, og denne proces kan fortsætte, indtil befæstelseselementet endeligt knækker. Den indledende revne vil typisk forekomme inde i et kort og udvikle sig, indtil det når korngrænsen. Fra det punkt vil det udvikle sig langt korngrænserne, indtil befæstelseselementet endeligt knækker.

BRINTSKØRHED

Forebyggelse og brinteliminering

Brintskørhed er i høj grad uforudsigelig og der skal gøres alt, hvad der er muligt, for at undgå det under designfasen, hvor delenes egenskaber fastslås, og under efterfølgende produktion.

Undgåelse af produktionsprocesser, som tillader generering af brint og indtrængning af brint i befæstelseselementerne, vil eliminere risikoen for brintskørhedsfejl, der stammer fra produktion. Den miljømæssige type, der forårsages af korrosion, kan undgås ved at vælge en passende overfladebehandling, som ikke generere brint under galvaniseringsprocessen.

Blandt en række mulige løsninger kan nævnes følgende:

- Mekanisk forzinkning
- Dacromet
- Geomet
- Delta Protekt
- Xylan 1014/1400/1424
- Magni 565

Brintskørhed forekommer kun for befæstelseselementer med høj styrke. Hvis anvendelserne tillader det, bør der vælges befæstelseselementer med en hårdhed på under 320 HV, når produktionsmetoden ikke kan udelukke brint.

Undgå så vidt muligt syrebade, eller hold i modsat fald nedsænkningstiden under syrebejdning på

et minimum. Syren skal altid indeholde inhibitorer. Hvis der er brug for befæstelseselementer med høj styrke og produktionsprocessen ikke tillader total eliminering af brintgenerering og absorption i befæstelseselementet, f.eks. ved syrebade og galvanisering, er det meget vigtigt at minimere risikoen for efterfølgende bagningsproces, kaldet brinteliminering.

Bagningen er specificeret af ISO 4042 ved en temperatur på 200 °C til 230 °C i to til 24 timer. Dele skal bages inden for fire timer efter galvanisering, helst en time, da brintkoncentrationen umiddelbart efter syrebad og galvanisering er meget høj lige under ståloverfladen. Det er vigtigt at være opmærksom på, at de givne temperaturer skal være baseret på temperaturen i befæstelseselementet kerne.

Især for befæstelseselementer med resterende belastninger er bagetiden meget vigtig, da resterende belastninger i befæstelseselementerne vil få brinten i nærheden af overfladen til at spaltes til disse belastede områder, hvilket kan medføre overfladedefekter, indeslutninger, dislokationer og muligvis resultere i skørhed.

Formålet med bagning er at drive så meget brint som muligt ud og fordele resten i hele befæstelseselementet. Dette vil mindske mængden af bevægelig brint, som medfører skørhed. Undersøgelser har vist, at bagetiden er meget vigtig, og jo tættere på 24 timer des bedre. Bagning under 5-6 timer har vist sig at have en meget begrænset effekt.

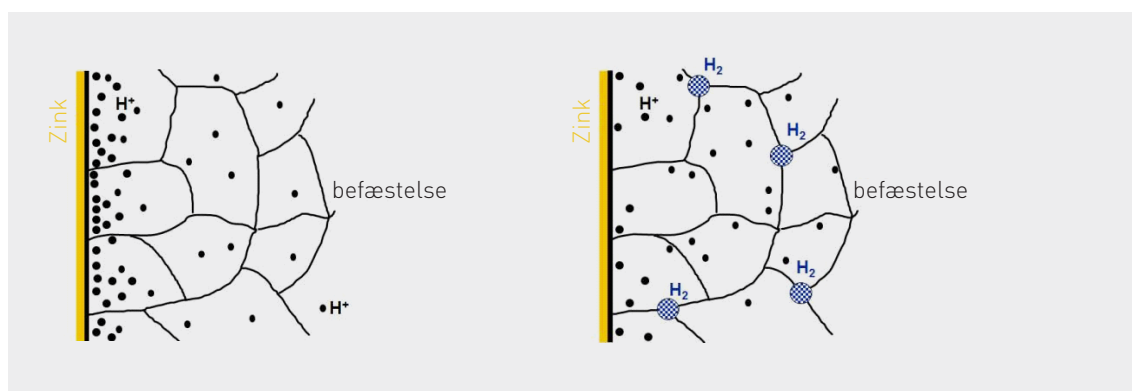


Fig. 4: Brintfordeling før (venstre) og efter bagning (højre)

BRINTSKØRHED

Procedure til inspektion af befæstelseselementer for brintskørhed

Når skørhedsfejl forekommer, er det sjældent alle befæstelseselementer i et parti, der er påvirkede. Som regel vil kun nogle få procent eller mindre af befæstelseselementerne vise skørhed, når de udsættes for trækbelastninger. Inspektion kan udføres, men selv en lang række test vil måske ikke fange de berørte dele på trods af selve testmetodens høje effektivitet.

Inspektion af befæstelseselementer er defineret af ISO 15330, "Forbelastningstest til detektion af brintskørhed - Parallel sædeoverflademethode". Under testen udsættes befæstelseselementerne for trækbelastning inden for strækgrænsen eller brudtilspændingen. Belastningen eller tilspændingen holdes i mindst 48 timer. Det er vigtigt for testen, at befæstelseselementerne konstant udsættes for trækbelastninger og at sædet (indlejring) er begrænset til et minimum. Efter hver 24. time efterspændes befæstelseselementerne til indledende belastning eller tilspænding, samtidig med at det kontrolleres, om der er forekommet brud pga. brintskørhed.

Hvis alle testede befæstelseselementer fra et parti har bestået testen uden brud eller synlige revner, kan partiet frigives. Det er dog vigtigt at vide, at sådanne test er beregnet til intern proceskontrol i produktion, hvor de kan startes inden for timer efter brintgenereringsprocessen. Som beskrevet tidligere er tiden fra indtrængning af brint til modvirkningsprocesser meget vigtig for effektiviteten. Det samme gælder effektiviteten af brintskørhedstest. For endelig godkendelse af befæstelseselementer er testmetoden, der er beskrevet i ISO 15330, stadig det bedste valg, men der gøres opmærksom på, at chancerne for at opdage et potentielt brud vil være reduceret.



Hvis du har brug for yderligere hjælp eller har specielle krav til din applikation, kan du kontakte os på www.bossard.dk og vores ingeniører vil vende tilbage til dig.