

Note om tandhjulsskader, del I

Sub case fatigue/Case crushing

af

Curt Christensen og Henrik Bang

FORCE Technology registrerer i øjeblikket (fra 2010 og fremefter) en stigning i tandhjulsskader. Der kan være flere årsager hertil. En af dem kan være en simpel stigning i antallet af maskinerier hvori der indgår tandhjul (eksempelvis vindmølle gear, vinkel gear til azimut propellere, etc.). Med flere tandhjul i drift vil der alt andet lige også opstå flere tilfælde af tandhjulsskader. Der kan imidlertid også være andre årsager der delvist kan være afledt af det store antal tandhjul i drift, nemlig

- *Ændring (nedskæring) i drifts- og vedligeholdsbudgetter*
- *Mangel på uddannet vedligeholdelsespersonel*
- *Designfejl*
- *Materialefejl*
- *Forringet kvalitetssikring og kvalitetskontrol*

Det sidste dækker over, at det kan være vanskeligt at fremskaffe råmaterialer af tilstrækkelig høj kvalitet. Firmaer kan være nødt til at indkøbe materialer fra flere kilder for at kunne opretholde produktionsraterne. Nye leverandører kan have en noget anderledes kvalitetsfilosofi end man er vant til. Omvendt kan tidligere råvareleverandører føle sig tvunget til at gå på kompromis med deres hidtidige specifikationer og procedurer af konkurrence hensyn, og da materialespecifikationer og procedurer i sig selv, ikke altid er og kan være fyldestgørende, kommer man i den situation at grundspecifikationen overholdes, samtidig med at der slækkes på andre forhold, der tidligere "bare blev gjort" uden at være et fast formuleret kvalitetskrav. Sådanne "undladelsessynder" kan imidlertid godt være udslagsgivende i den sidste ende så kvaliteten er forringet.

I denne note fokuserer vi på fænomenerne subcase fatigue og case crushing. De er nært beslægtede og falder begge ind under rubriceringerne materialefejl og forringet kvalitetsikring.

Der er ikke nogen dansk betegnelse for disse skadesmekanismer, men de kan beskrives som udmattelsesrevner startende inde under den hårde skal på ovefladehærdede tandhjul. Hvis revnerne initieres dybt nok under overfladen kan de vokse på tværs af tanden og føre til afbrækning af store stykker af tanden. Hvis udmattelsen initieres tættere ved overfladen kan revnerne udbrede sig inde under den hærdede skal, hvor de vokser parallelt med overfladen. Efterhånden dannes der revner vinkelret på overfladen, så den hærdede skal tilsyneladende brækker i lange tynde stykker. Sidstnævnte situation har givet navn til fænomenet case crushing, men i bund og grund er der tale om subcase fatigue.

Situationen kan beskrives som vist i figur 1. Udmattelsesstyrken (rød kurve) er proportional med hårdheden og normalt vil man vælge sine gearmaterialer således at de hertzske forskydningspændinger (grøn kurve) ligger et pænt stykke under den røde kurve. De uregelmæssigheder, der er på den røde kurve repræsenterer

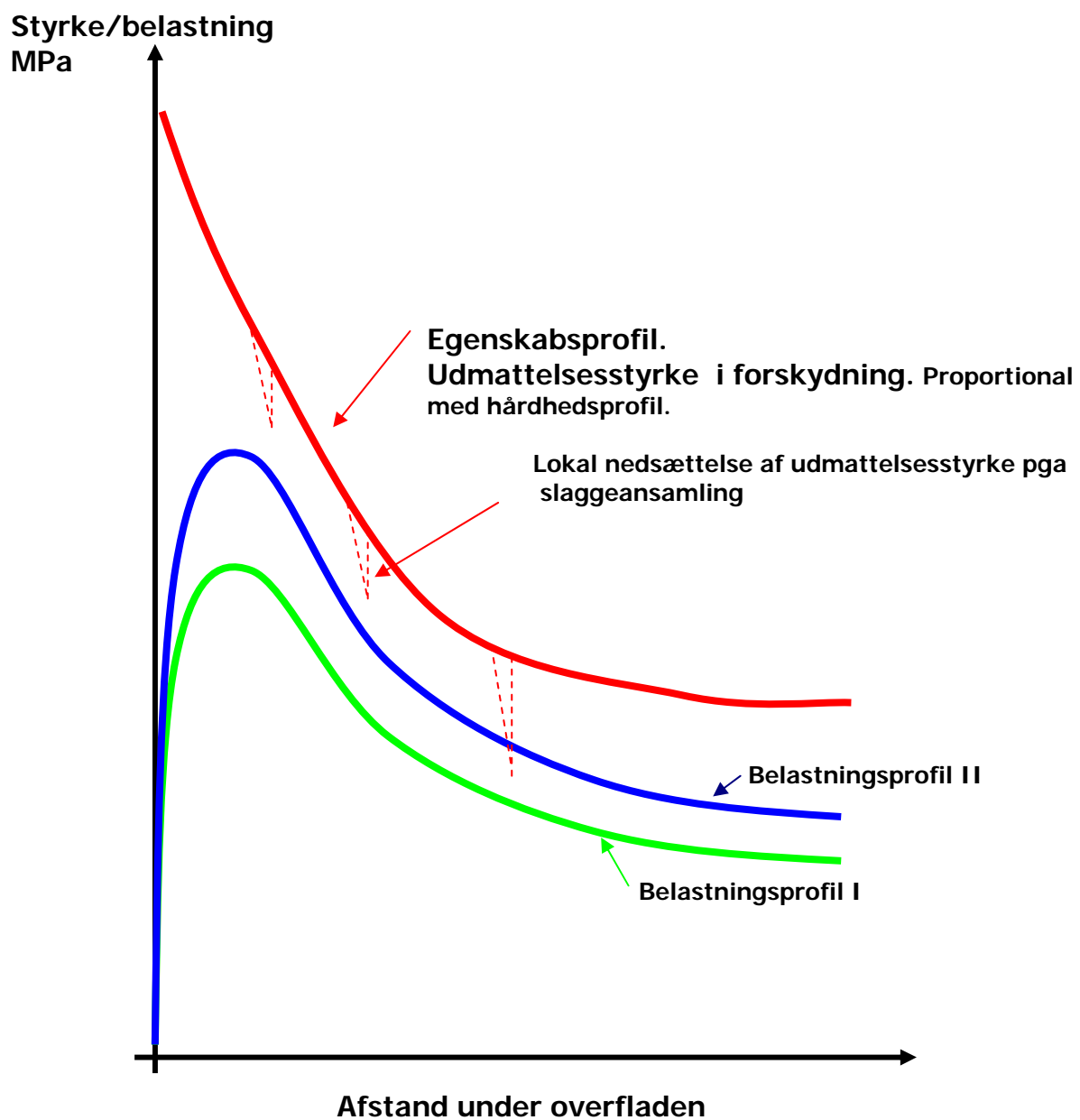
lokal variation i udmattelsesstyrke for eksempel pga. tilstedeværelse af ikke-metalliske indeslutninger i materialet. Hvis gearbelastningen fører til for høje hertzske forskydninger som repræsenteret af den blå kurve (eller hvis de lokalt forekommende slaggeansamlinger medfører større tab af udmattelsesstyrke) kan der opstå udmattelsesrevner startende fra slaggeansamlingerne.

Figur 2 til 6 viser eksempler på afbrækkede tænder fra geardrivaksler. Brudfladerne afslører tydeligt at der er startet udmattelsesrevner fra lineære fejl inde i materialet. De muslede brud udbreder sig til alle sider både udad mod tandoverfladen og på tværs af tanden. Dette er typisk tilfælde af sub case fatigue.

Figur 7 viser en tand der endnu ikke er brækket af, men hvor man kan se revnerne i tandflanken fremkaldt vha. penetrant-prøvning. Figur 8 og 9 viser eksempler hvor skaderne er mere fremskredne. Case crushing ender typisk med at tandoverfladen splintres i lange tynde stykker.

Det er typisk for begge disse typer tandhjulsskader, at de ofte kun berører en eller ganske få tænder, og at der ikke er tegn på primære skader på andre tænder.

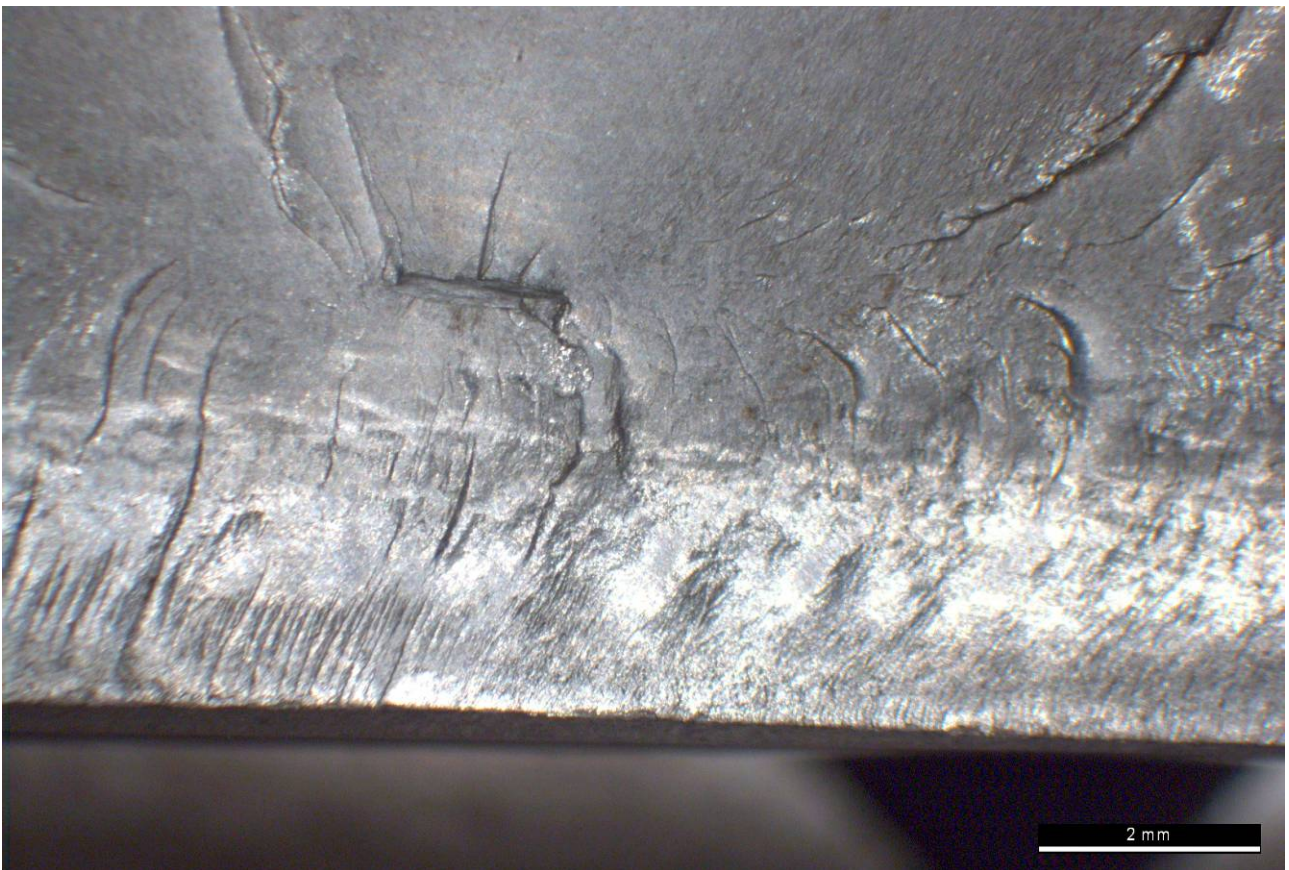
For kvalitets gear hvor eventuelle gearnedbrud er bekostelige eller udgør sikkerhedsmæssige risici er det nødvendigt at have en indkøbspolitik og -specifikation, der sikrer mod uhensigtsmæssige slaggeindeslutninger på uheldige steder i materialet. Det kan opnås ved at benytte tilstrækkelig stor sikkerhedsmargin mellem belastnings- og egenskabsprofil (aftand mellem rød og grøn kurve i Figur 1) ved at undgå de lokale slaggeindeslutninger gennem kvalitetsikringsforanstaltninger i stål fremstillingen og kvalitetskontrol af de færdige emner (undgå de lokale dyk i udmattelsesstyrke). Sidstnævnte kan opnås ved hjælp af avanceret ultralydscanning, hvor man kan detektere og frasortere fejlindikationerne inden færdigmontage.



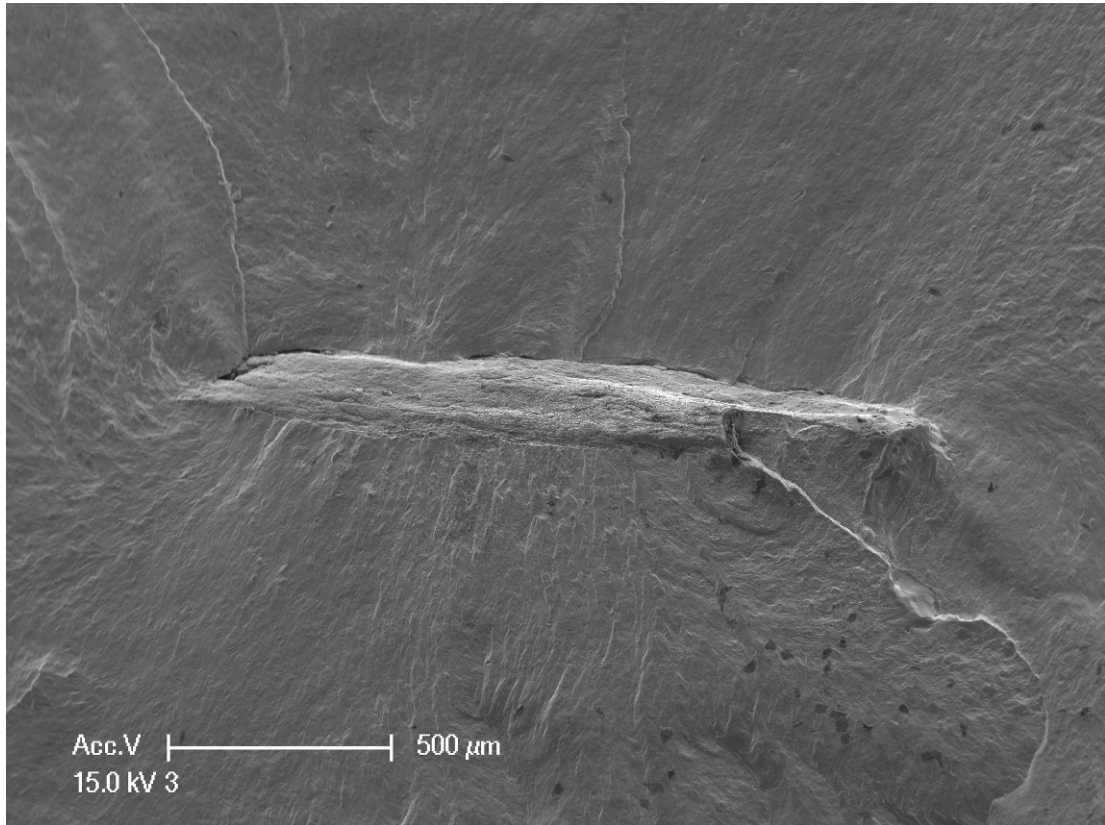
Figur 1: Skematisk fremstilling af udmattelsesstyrke igennem hærdezone.



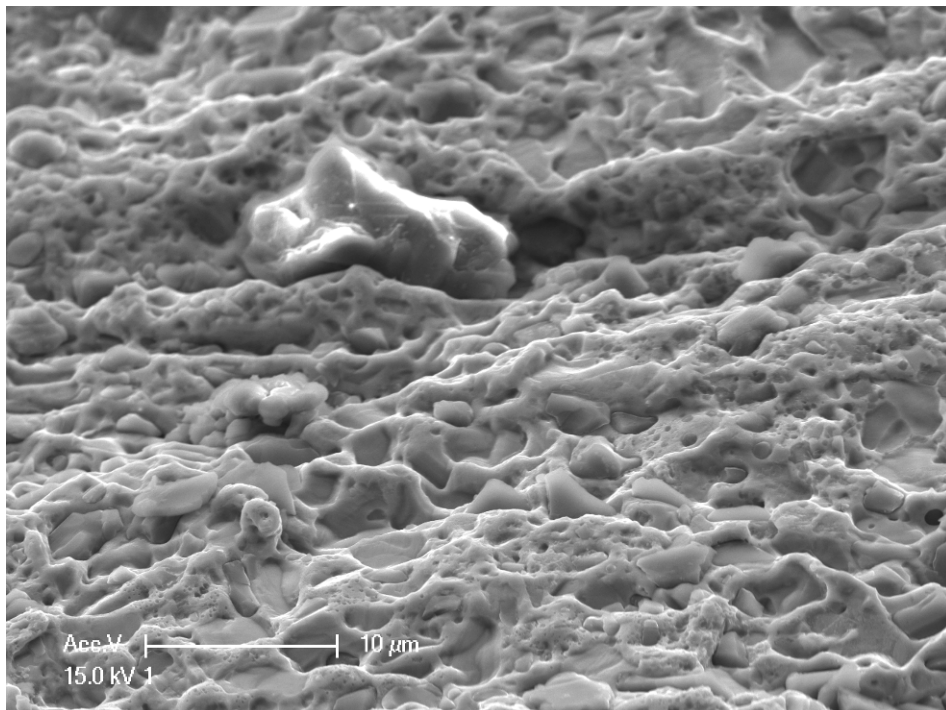
Figur 2: Foto af brudflade fra afbrækket tand. Typisk udseende for udmattelsesbrud.



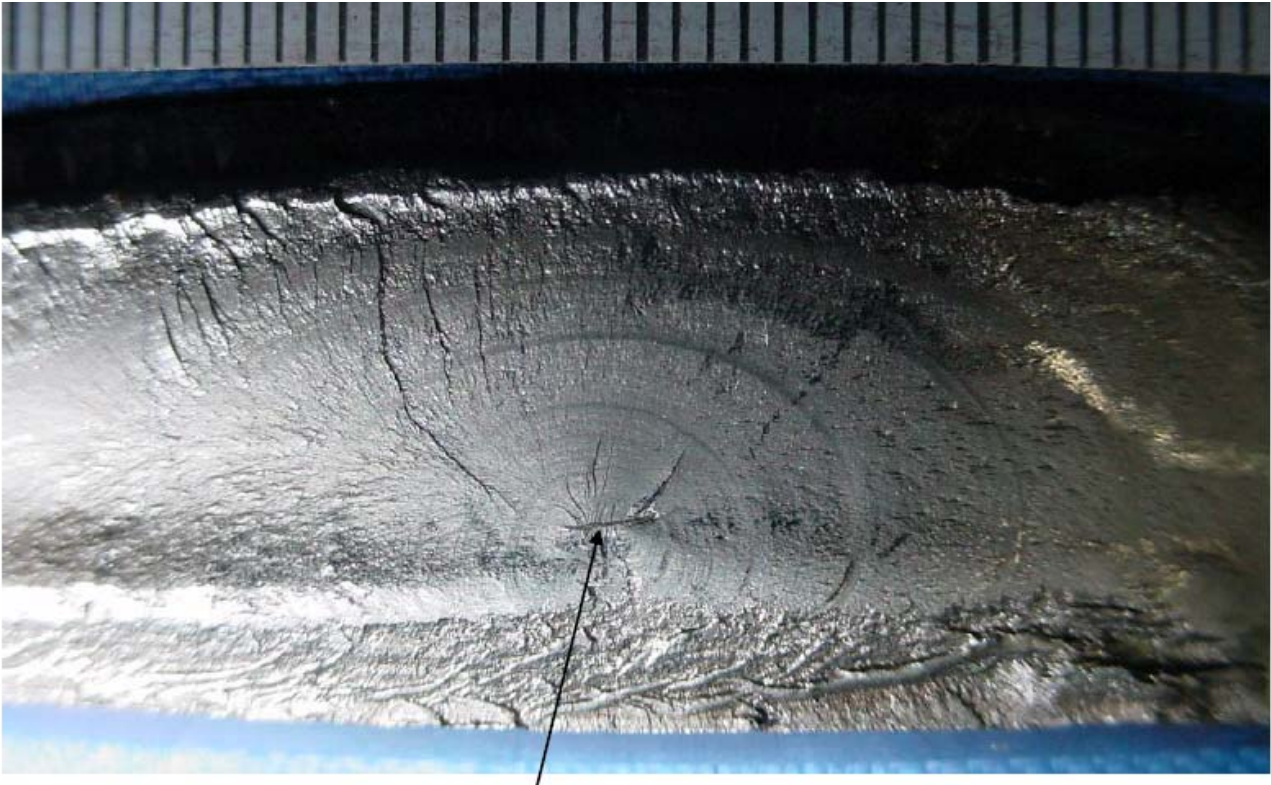
Figur 3: Nærbillede af område under overfladen indeholdende startstedet for udmattelse.



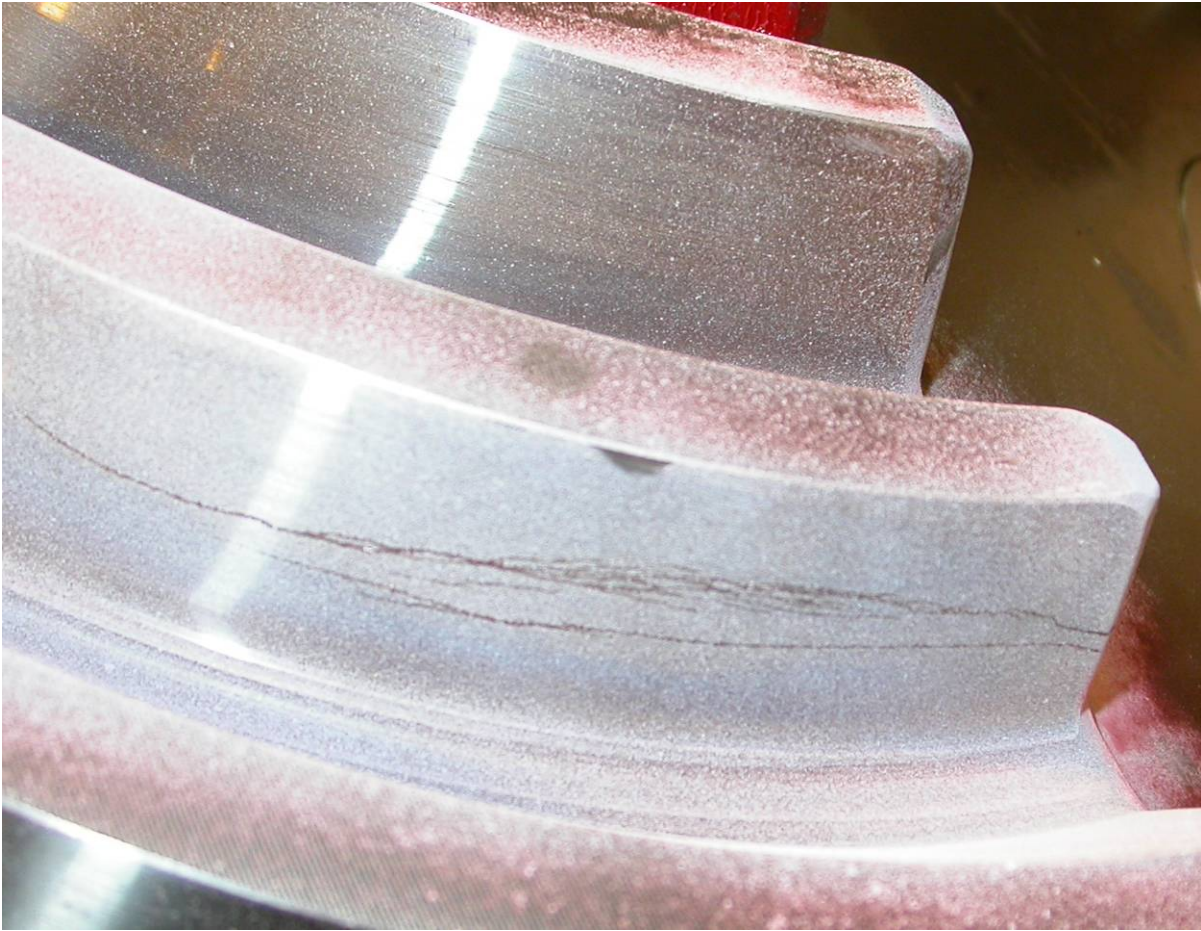
Figur 4: Højere forstørrelse af revnestartområdet.



Figur 5: Høj forstørrelse af overfladen i revnestartstedet. Udseendet er typisk for revner opstået under stålframstillingen i forbindelse med ikke-metalliske slagger i stålet.



Figur 6: Et eksempel på subcase fatigue med tydelig markering af concentriske vækstlinier udstrålende fra et fælles startsted ved en ikke-metallisk slaggeansamling (ved pilen).



Figur 7: Eksempel på case crushing i et tidligt stadie i et bevel gear, hvor overfladen endnu er intakt. Revnerne i overfladen er fremkaldt ved hjælp af penetrant prøvning.



Figur 8: Eksempel på case crushing i et lidt mere fremskreden stadie med udfald af lange splinter af overfladen.



Figur 9: Samling af typiske afbrækkede og udfaldne splinter fra tandoverfladen.