

Utmattning är dimensionerande för många typer av svetsade stålkonstruktioner såsom broar, traversbalkar, vindkraftverkstorn och skorstenar. Detta innebär att dimensioner, plåttjocklekar och materielmängd i dessa konstruktioner bestäms i praktiken av utmattningsanalysen.

Fyra parametrar som avgör

Generellt, kan man urskilja fyra parametrar som är avgörande för utmattningstidslängden i en svetsad detalj:

- Den nominella lasteffekten "långt" från sprickinitieringspunkten i den aktuella detaljen. Nominellspänning kan vara skjuv- eller normalspänning från membran- och böjspänningar.
- Spänningskoncentrationen till följd av detaljens geometri och dimensioner.
- Lokal anvisningsverkan vid sprickinitieringspunkten.
- Svetsdefekter såsom svetsdike, porositet och dylikt

Givetvis, har även svetsrestspänningar en inverkan på utmattningshållfastheten hos svetsade detaljer.

Problem med nominellspänningsmetoden

En konventionell utmattningsberäkning görs med den s.k. "nominellspänningsmetoden". Metoden är anpassad (och ursprungligen framtagen) för situationer där lasteffekten (snittkrafter/spänningar) erhålls med förenklade handberäkningsmodeller, t.ex. enligt balk- och plattteorin.

Nominellspänning bör givetvis inkludera "global" lastfördelning och lastomlagring, t.ex. till följd av shear-lag, vridning, välvning och dylikt, men exkluderar lokala spänningskoncentrationer (B & C). Inverkan av dessa läggs istället på hållfasthetssidan. Följden blir, bland annat, att flera S-N kurvor kan behövas för att beskriva utmattningshållfastheten hos samma detalj och att utmattningshållfastheten blir då "diskontinuerlig". En annan nackdel med nominellspänningsmetoden är det begränsade antal detaljer som återges i normer och standarder, t.ex. EN 1993-1-9. Problem kan uppstå vid val

av detaljkategori (C-klass) då konstruktionsdetaljer med "icke-standard" utformning används.

Nominal stress method		
Detail category	Construction detail (Longitudinal attachments)	
C80	$L \leq 50\text{mm}$	
C71	$50 < L \leq 80\text{mm}$	
C63	$80 < L \leq 100\text{mm}$	
C56	$L > 100\text{mm}$	
C71	$L > 100\text{mm}$ $\alpha < 45^\circ$	
C80	$r > 150\text{mm}$	

Fig. 1. Detaljkategori för plåt med icke lastbärande längsgående avstyvning enligt EN 1993-1-9.

Finitelementmetoden

Idag används finitelementmetoden i större utsträckning vid dimensionering av stålkonstruktioner. Fördelarna med FEM-beräkningen är många, speciellt i relativt komplexa konstruktioner och där lasteffekter är svårt att bestämma med förenklade handberäkningsmodeller.

Ett problem som möter konstruktören då 2D eller 3D finitelement används är att bestämma "nominellspänning" från FE-modellen. Svettsade detaljer och anslutningar orsakar skarpa diskontinuiteter och spänningarna beräknade från FEM vid anvisningen ger oftast numeriska singularitetsproblem.

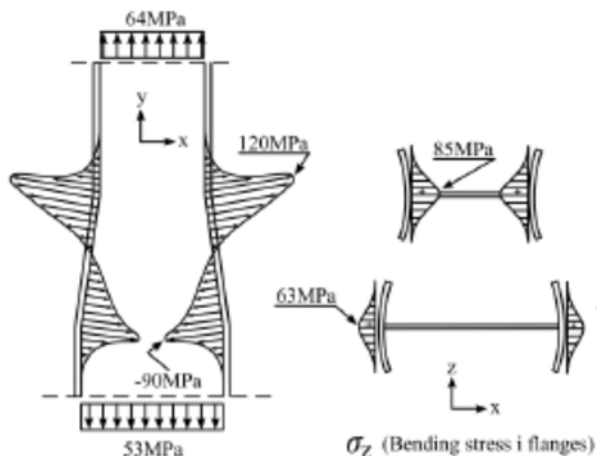


Fig. 2. Exempel på oförutsedda eller försummade lasteffekter som kan vara avgörande vid utmattningsdimensionering av svetsade detaljer.

Beräkning med geometriska (hot-spot) spänningar

Hot-spot spänningsmetoden utvecklades för att hantera detta problem. Metoden har använts sedan 1980-talet vid utmattningsdimensionering och utmattningsanalys av svetsade stålkonstruktioner i offshore- och fordonsindustrin och har på senare år tillämpats inom byggkonstruktioner. Principen för metoden är att exkludera icke-linjära spänningar vid singularitetspunkter genom spänningsextrapolering. Den erhållna spänningen utgörs då av membran- och böjspänningar i detaljen där inverkan av "global" spänningskonstruktion till följd av detaljutformning och -dimensioner beaktas direkt i spänningsberäkningen. Metoden innebär därför flera fördelar jämfört med nominellspänningsmetod. Hot-spot spänningar beräknade från FE inkluderar eventuella lastfördelnings- och om-lagringseffekter (t.ex. shear-lag). Att spänningskonstruktions-effekter beaktas direkt på lasteffektsidan innebär att det behövs färre antal

S-N kurvor (3 jämfört med 14 i nominellspänningsmetoden enligt EN 1993-1-9) och att diskontinuiteter i utmattningshållfasthet överkommas. En ännu viktigare fördel med metoden är att den kan användas vid analys av mer komplexa och okonventionella detaljer som inte finns tabulerade in standarden.

Hots-spot spänningsmetoden kan i princip endast användas för utvärdering av detaljer där rådande utmattningsbrott är spricka från svetstå, även om varianter för utvärdering av rotspricka har föreslagits.

Eurokoden öppnar för användning av hot-spot spänningsmetoden (Annex B i EN 1993-1-9) men återger inga regler eller riktlinjer för hur beräkning av hot-spot spänningen bör göras. Arbetet pågår nu för att inkludera detta i nya uppdateringar av Eurokoden.

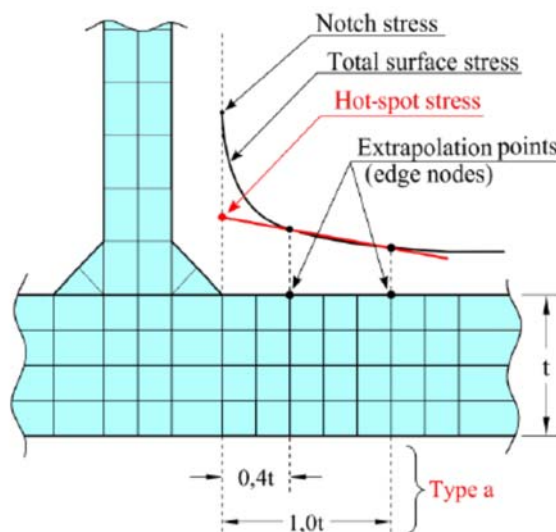


Fig. 3. Spänningsextrapolering vid utmattningsberäkning med hot-spotspänning.

Beräkning med "notchspänning"

En annan metod som har fått bredare användning inom andra industrier där svetsade stålkonstruktioner används är ENS-metoden (Effective Notch Stress). Även denna metod är framtagen för användning i utmattningsanalys i samband med finitelementmetoden.

I ENS-metoden beräknas den lokala spänningen vid anvisningen (sprickinitieringspunkten) där även lokala spänningskoncentrationer från svetsformen beaktas. Metoden kan användas för såväl tå- som rotspricka. För att komma runt problemen med singularitetspunkter vid sprickinitieringspunkter (tå eller rot) rundas dessa med en radie som beror på plåttjocklek.

En fördel jämfört med hot-spot spänningsmetod är att spänningarna vid utmattningsanalysen med ENS-metoden kan fås direkt av FE-modellen utan extrapolering eller linjärisering.

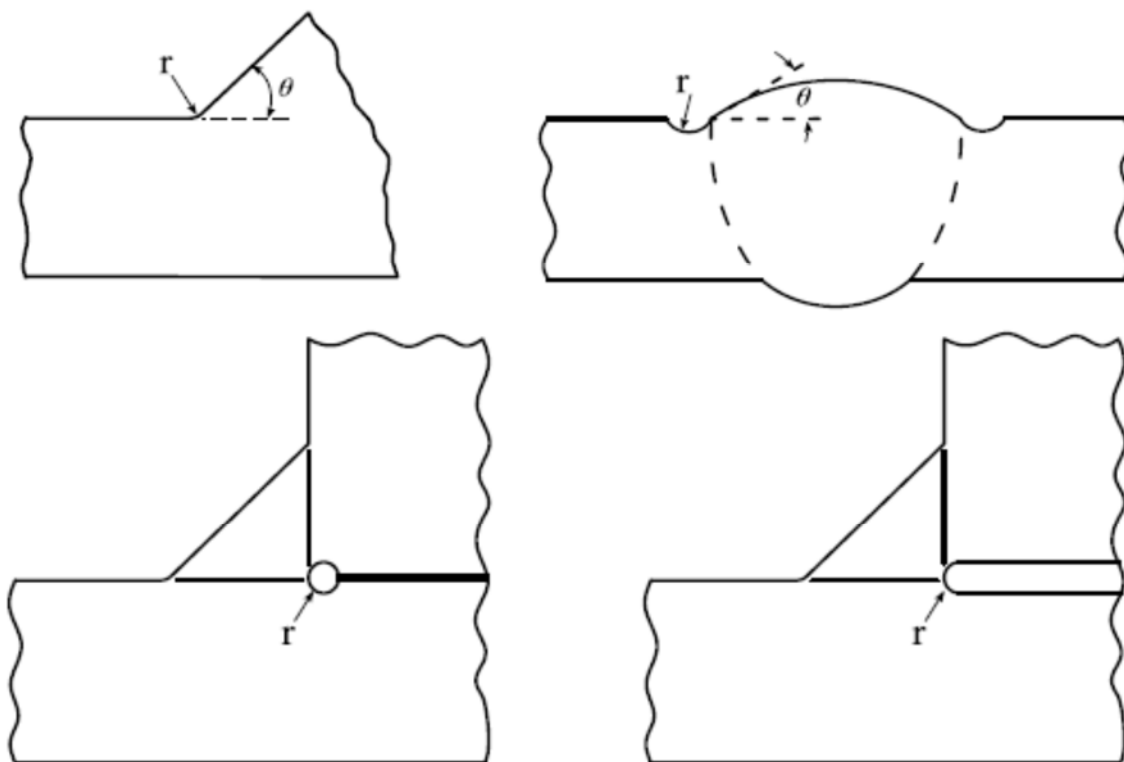


Fig. 4. Effektiv notchspänningsmetoden (ENS) kringgår numeriska singularitetsproblem genom att runda skarpa anvisningen vid sprickinitieringspunkterna