



SVEJSESPÆNDINGER I OFFSHORE STÅLKONSTRUKTIONER

På DTU Byg undersøges det, om det kan lade sig gøre at optimere udmattelsesdesignet i offshore stålkonstruktioner i forhold til svejseuspændinger og korrosion.

**Michael Joachim Andreassen,
Lektor, Ph.d., DTU BYG, Institut
for Byggeri og Anlæg**

Et stort antal offshore konstruktioner er blevet designet og installeret til brug i aggressive miljøer de seneste årtier. Heraf repræsenterer stålkonstruktioner til vedvarende energi samt olie- og gasanvendelser en betydelig del. Efterspørgslen efter fremstilling af store offshore konstruktioner er høj. Udmattelse er i denne forbindelse blevet bredt anerkendt af industrien såvel som i forskningsmiljøer som et vigtigt element i design, vedligeholdelse og reparation af offshore konstruktioner. Det komplekse fænomen relateret til udmattelse forstærkes yderligere ved tilstedeværelsen af svejsninger, svejseinducerede materialeændringer og det faktum, at offshore konstruktioner opererer i et

aggressivt miljø. Således kombineres de skadelige virkninger af udmattelsesbelastning med skadelige og destruktive virkninger af svejseprocesser og korrosion. Hermed bliver miljø- og svejseprocesserne en væsentlig faktor ved bestemmelsen af konstruktionernes udmattelsesbestandighed og i vurderingen af levetiden. Sammenføringen ved svejsning i større og større konstruktioner og godstykker er ligeledes udfordrende. Retningslinjerne for design af offshore konstruktioner er af ældre dato. Derimod er fremstillingsprocesser, materielle og mekaniske egenskaber samt designløsninger blevet ændret og forbedret. Således bliver godstykkeeffekten og svejsemetoden et interessant emne at undersøge. Det nuværende design samt nye design- og fremstillingsmetoder bør derfor undersøges, forstås og optimeres.



Automat-svejsning i DTUs svejselaboratorium.



Undervisning af DTU-studerende i kunsten at svejse.

Aktiviteter, metoder og resultater

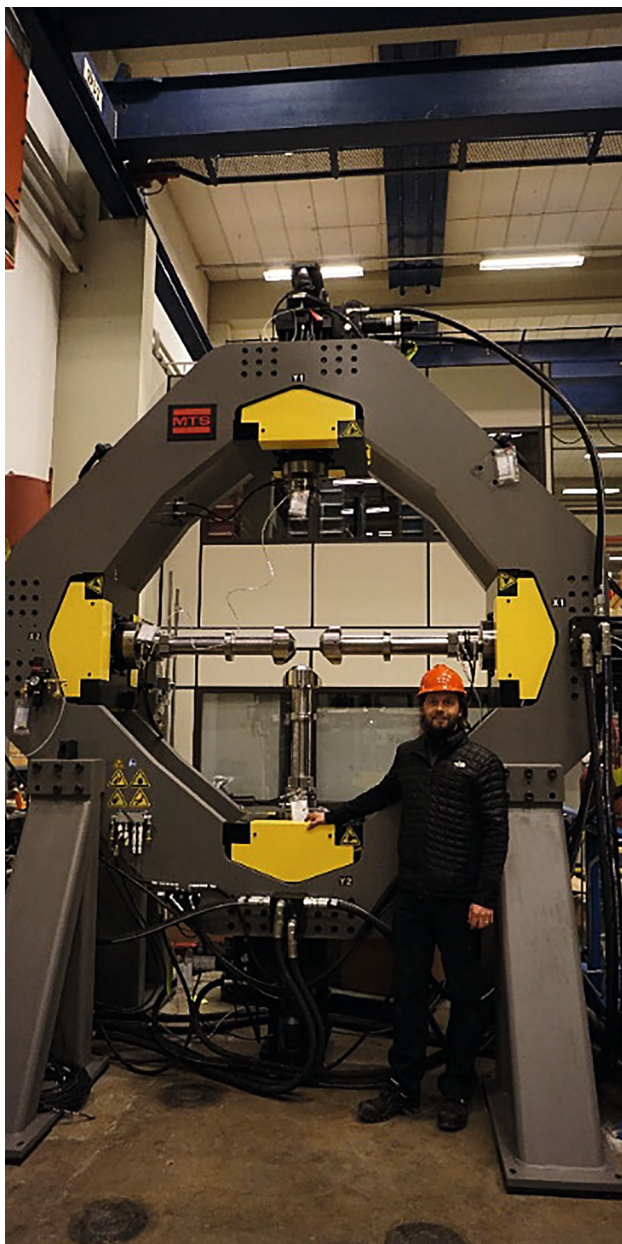
På DTU Byg undersøges det, om det er muligt at optimere udmattelsesdesignet i offshore stålkonstruktioner i henhold til svejse-spændinger og korrosion. Svejse-spændinger har en negativ indvirkning på svejsningernes integritet, da de reducerer udmattelseslevetiden,

fremmer deformationer og medvirker til korrosionsbrud og sprødbud i de svejste komponenter. I denne forbindelse forsøges det at opnå en omfattende forståelse og kontrol af fordelingen og udviklingen af svejse-spændinger og korrosion. Hermed fokuseres bl.a. på en optimering af intensitetsfaktoren for egenspænding. Denne faktor påvirkes

bl.a. af svejse-spændingerne relateret til godstykkelse, svejsemetode og afkølingshastighed. Ved brug af forsøg, numeriske simuleringer og i overensstemmelse med eksisterende produktionsprocedurer søges en optimering af intensitetsfaktoren for egenspænding og dermed udmattelseslevetiden. Forskningen inden for svejse-spændinger er derfor vigtig for industrien for bedre at kunne forstå adfærden af de forskellige stålkomponenter. Stålfabrikkerne øger størrelseskravene i takt med en stigende efterspørgsel af dybere fundamenter relateret til designkrav. En optimering af udmattelseslevetiden vil føre til brug af en mindre mængde materiale, hvilket gør konstruktionen billigere – og fremstillingen, samlingen og transporten lettere. Ved undersøgelse af udmattelseslevetiden forventes et bedre kendskab til svejse-spændinger og korrosion i forhold til pladetykkelsen, svejsemetoden og afkølingshastigheden. Dette vil medføre en optimering af konstruktionsdesignet iht. udmattelseslevetiden og hermed et mere sikkert, veldokumenteret og forbedret udmattelsesdesign. Således resulterer det også i mere effektive og forbedrede svejseprocedurer, en hurtigere produktion og en mulighed for konstruktionsoptimering. I denne forbindelse forventes forskningen at bidrage til offshore-industrien ved at optimere og forbedre de nuværende normer og standarder, som synes at være for konservative og utilstrækkelige. Endvidere vil det optimere sammen-



Pulversvejsning af monopæl hos Bladt Industries A/S.



Bi-aksial udmattelsesmaskine i DTUs laboratorium.



Testopstilling i DTUs laboratorium med korrosivt miljø.
Ólafur Magnús Ólafsson.

hængen mellem numeriske simuleringer og fysiske modeller.

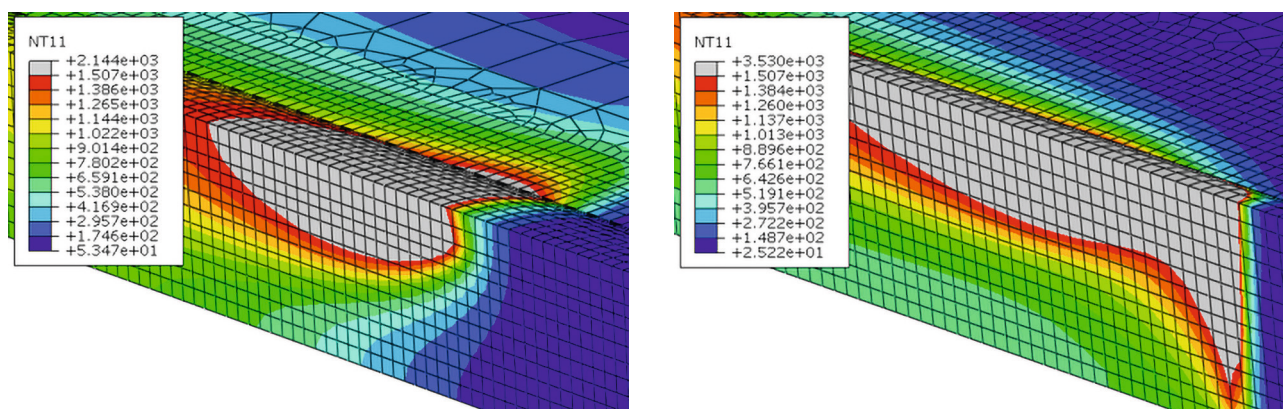
De to svejsemetoder, der bliver undersøgt, er pulver svejsning (SAW) og laser-hybrid svejsning (HLAW). De svejste godstykker er hhv. 10mm, 20mm, 40mm og 60 mm. Den anvendte stål kvalitet er S355ML. Pulver svejsning er en traditionel og velkendt svejsemetode, og den metode, der pt. benyttes til svejsning af bl.a. monopæle til havvindmøller. Laser-hybrid metoden er nyere og samtidig en metode, der udvikler sig hurtigt. Den muliggør en udfordring til pulver svejsemetoden i mange forskellige aspekter. Danmark er udstyret med et af verdens mest

kraftfulde laser-svejsesystemer, som giver den ekstraordinære mulighed at udføre omtalte sammenligning og forskning. Hermed også mulighed for at bistå branchen med at indføre høj-effekt laserteknologier i deres produktion. Innovativ og anderledes tænkning er relevant for offshore industrien, der er stærkt udfordret på dens konkurrenceevne.

Svejsespændingstilstanden og svejseprocesserne undersøges ved hjælp af numeriske simuleringer, hvor der anvendes en koblet 3D-model under hensyntagen til den transiente termomekanik sammen med materialelegenskaberne ved forskellige temperaturer.

Temperaturfordelinger opnået ved numeriske simuleringer for hhv. pulver svejsning og laser-hybrid svejsning er vist i figur 1.

Modellen understøttes af forsøg og målinger af temperaturer, kølehastighed og svejsespændinger. Der anvendes neutrontdiffraktion til at kortlægge spændingsfordelingen for pladetykkelser op til 40 mm og konturmetoden til tykkelser over 40 mm. Da enkle målinger på samme tid både er nyttige og nødvendige, anvendes også hulbormetoden til måling af svejsespændingerne. Resultaterne af foreløbigt arbejde og indledende forsøg viser interessante resultater. Dette →



Figur 1: Temperaturfordeling opnået ved hhv. pulversvejsning (venstre) og laser-hybrid svejsning (højre).

er bl.a. fordelingen af langsgående svejse-spændingerne opnået ved FE-modellering for hhv. pulversvejsning og laser-hybrid svejsning som vist i figur 2.

Fra figur 2 ses, at de maksimale svejse-spændinger har omtrent samme værdi for hhv. pulversvejsning og laser-hybrid svejsning. Fordelingen af spændingerne er imidlertid forskellig, idet breddefordelingen er større for pulversvejsningen end for laser-hybrid svejsning, hvilket gør den samlede mængde svejse-spændinger større for pulversvejsningen.

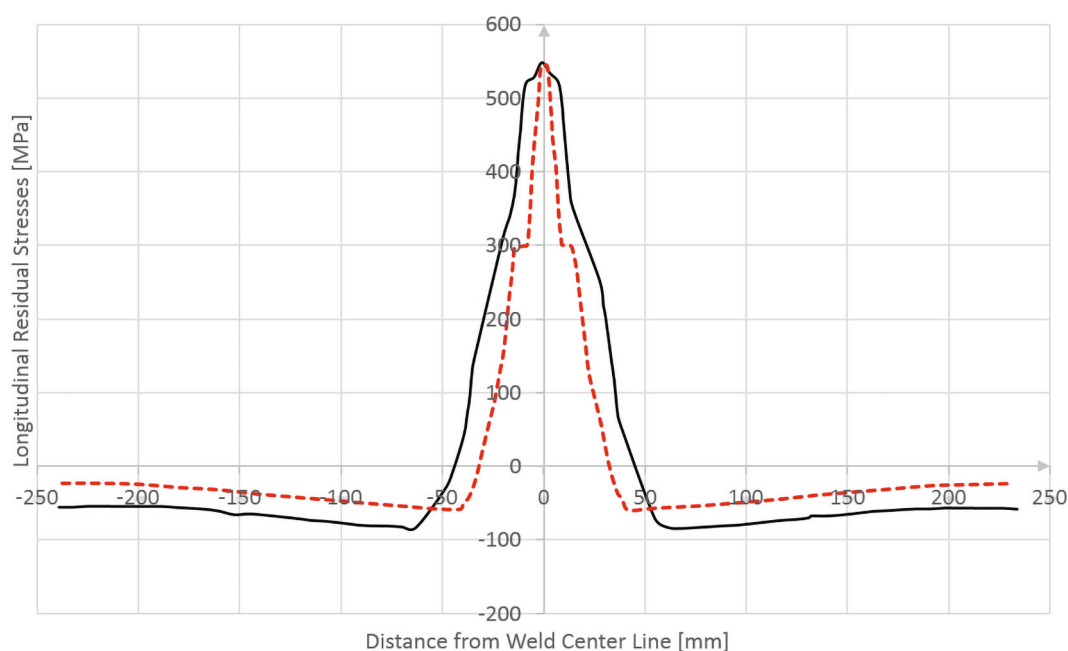
Men hvordan svejse-spændingerne virkelig adskiller sig og er relateret til tykkelseffekten og afkølingshastigheden er stadig i undersøgelsesstadiet.

Anvendelse af eksperimentelle faciliteter og konsortium

Til udførelsen af projektet anvendes DTUs eksperimentelle infrastruktur i form af bl.a. 'Center for Advanced Structural and Material Testing'. Centret sigter mod at yde ekspertise og faciliteter til forskning og forsøg i multiskala, herunder bl.a. test af udmattelseslevetid.

De unikke testfaciliteter er yderligere komplementeret af DTUs svejselaboratorium og korrosionsfaciliteter for at muliggøre egenproduktion af prøver under anvendelse af forskellige svejseteknologier samt elektrokemisk karakterisering af prøver før og efter korrosionsudmattelsesforsøg.

Konsortiet bag projektet omfatter flere nationale og internationale partnere, som bl.a. omfatter DTU BYG, DTU MEK, Colorado School of Mines, FORCE Technology, Bladt Industries, COWI, Oak Ridge National Laboratory, Helmholtz-Zentrum Berlin og Los Alamos National Laboratory. Denne konstitution af både universiteter, virksomheder og nationale laboratorier sikrer et optimalt forskningsmiljø, udvikling og oversættelse til praksis.



Figur 2: Fordeling af langsgående svejse-spændingerne opnået ved FE-modelleringer for hhv. pulversvejsning (sort kurve) og laser-hybrid svejsning (rød kurve) for en godstykke på 10mm.