

Virtuella metoder för svets-simulering

Inom modern produktutveckling är virtuella metoder av enorm vikt. Med hjälp av dessa kan vi förstå fysikaliska samband, hur processparametrar påverkar och utveckla vår intuition kring konstruktion.

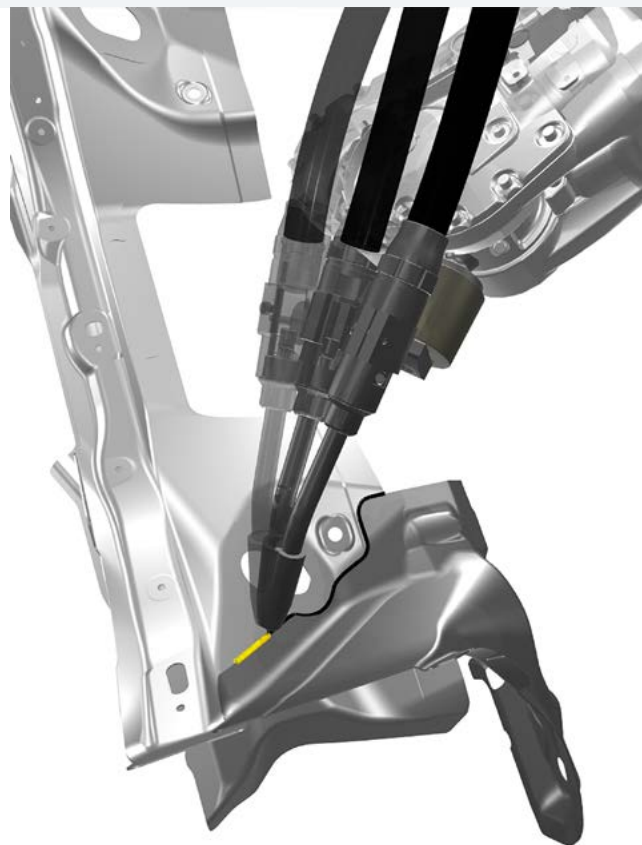
Svetsning är en komplicerat multifysikalisk process som är krävande att modellera.

Lite förenklat kan man säga att en produktutvecklingsprocess består av en konceptutvecklingsfas, en verifikationsfas och en produktionsfas. I den första fasen utvecklas geometrier, material, processer med mera. Detta görs typiskt innan några fysiska prototyper tagits fram. Fysiska prototyper tar lång tid att utveckla och är kostsamma. Av den anledningen vill man hålla ned antalet fysiska prototyper. Men det är under konceptfasen där viktiga konstruktionsbeslut tas, beslut vars konsekvenser kan visa sig först under produktionsfasen eller rent av då produkten är i användning.

Virtuella modeller, eller simulering, kan här användas som ett viktigt verktyg för att guida konstruktionen. Med hjälp av simulering kan många konstruktionslösningar utvärderas, man kan optimera processparametrar och geometrier samt simulera det statistiska utfallet eller variationen i processen. Inom Industri 4.0 pratar man till och med om digitala tvillingar, en digital kopia av de faktiska komponenter du skall svetsa. Men låt oss backa tillbaka och titta på hur svets-simulering går till.

SVETSSIMULERING

Att skapa virtuella modeller har två större delar, att bygga matematiska modeller och att skapa algoritmer som kan lösa de matematiska modellerna med den noggrannhet som krävs.



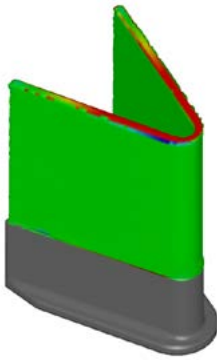
För att svetsroboten skall kunna svetsa längs svetsbanan behöver man ibland vinkla svetshuvudet. Vilket påverkar resultatet.

Därför måste man fråga sig, vilka svar skulle vi vilja ha från simuleringen. Är vi intresserade av att få en uppskattning på hur geometrin deformeras till följd av svetsen? Är vi intresserade av att se vilka spänningar som uppstår? Är vi intresserad av att se fasförändringar i mikrostrukturen eller vill vi förstå hur smältpoolen beter sig? Dessa frågor kommer typiskt från att man är intresserad av att säkerställa geometrin och kvaliteten på den svetsade komponenten samt optimera processparametrar.

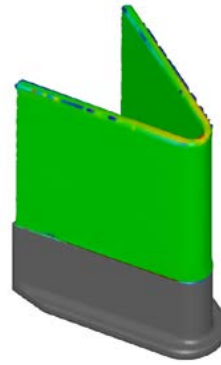
SEDAN 30-TALET

Svetssimulering har en historia som sträcker sig så lång bak som till 1930-talet då man gjorde beräkningar för att beräkna värmeutbredningen från svetsen. Med utvecklingen av finita elementmetoden, en metod för att numeriskt lösa fysikaliska problem, kunde man skapa mer realistiska modeller för att simulera hur värmen sprids samt hur materialet reagerar på värmen. De höga temperaturerna som är koncentrerade lokalt kring svetsfoggen ställer höga krav på de numeriska modellerna och de var först kring millennieskiftet som datorerna blev så pass kraftfulla att svets-simuleringar kunde användas för industriella problem.

Att prediktera deformation och spänning samt koncentration av mikrostrukturella faser är ett problem som kan modelleras med en termomekanisk modell som kan lösas med finita elementmetoden. För att modellera smältpolen krävs fluidme-



Figur 2: En analys av den färdigsvetsade biten visar att framkanten krympte ihop under svets, avvikelser visualiseras här med röd färg. De här avvikelserna skulle försvåra planeringen av en komplex tillverkningskedja med mycket svetsning.



Figur 3: Efter att ha genomfört en svetsmodellering på en digital tvilling av biten så stämmer den digitala tvillingen väl överens med de verkliga måtten efter svets. Detta är ett viktigt bevis på att den virtuella metoden är tillförlitlig och att den i framtiden kommer att kunna användas som ett verktyg under tillverkning av komplexa svetsade komponenter.

kanik som man typiskt löser med hjälp av finita differensmetoden. Att koppla dessa lösningsmetoder är komplicerat och generellt inget man gör för typiska industriella problem.

Startpunkten i en termomekanisk svetsmodellering är att skapa ett beräkningsnät av geometrin samt termomekaniska egenskaper av materialet vid olika temperaturer. Värmekällan modelleras genom att ansätta inflödet av värme i geometrin. Med hjälp av fysiska försök kan man skapa virtuella modeller som efterliknar svetsens värmefördelning. Hur väl värmekällan kan återskapa smältzonen, den del av geometrin som smälter, är ett bra mått på värmemodellens kvalitet. Värmeledningsekvationen löses för varje tidssteg. Den resulterande temperaturen leder till fastransformationer och termisk expansion vilket leder till plastisk töjning och residulaspänningar som beräknas för varje tidssteg.

När en robot utför svetsningen i en cell måste man dessutom simulera åtkomsten för roboten längs banan. Till exempel, det är möjligt att åtkomst bara är möjlig om man svetsar med en vinkel mot geometrin. Denna vinkel påverkar hur svetsen värmer fogen. För att säkerställa både att svetsprocess går att genomföra och att säkerställa svetsens och montaget kvalitet behöver dessa simuleringar utföras tillsammans.

ICKE-NOMINELL SVETSSIMULERING

Vår forskning har pekat på behovet av icke-nominell svetsmodellering. Detta då deformation som komponenter har innan de sätts i en svetsfixtur påverkar hur svetsen påverkar den slutgiltiga geometrin. För att simulera det statistiska resultatet av många producerade enheter krävs att man virtuellt svetsar ihop komponenter med simulerade avvikelser många gånger i en så kallad Monte-Carlo simulering. Då detta är mycket tidskrävande har snabbare approximativa metoder utvecklats. Här predikteras den volym som smälter under svetsningen utan att behöva simulera hela svetsförloppet. Den slutgiltiga geometrin approximeras med hjälp av den smälta volymen. Simuleringstiden går här ifrån många timmar till minuter.

En annan approach är att använda digitala tvillingar.

I stället för att svetsa komponenter med stokastiska avvikelser gör man en digital representation av skannade komponenter. När man simulerar

svetsning av komponenter använder man de specifika komponenter som skall svetsas för att prediktera svetsens effekt. Här kan man med hjälp av virtuella metoder svara på frågan, vilka specifika komponenter borde svetsas ihop för att få ett så bra resultat som möjligt.

ETT EXEMPEL FRÅN INDUSTRIEN

På GKN Aerospace i Trollhättan jobbar man med att tillverka komponenter till flygplansmotorer. Här forskar man på metoder för att i högre grad kunna använda virtuella metoder under tillverkningsprocessen. Bland annat använder man svetsmodellering för att förstå hur avvikelser på individuella bitar kommer att påverka komponentens slutgiltiga geometri. Här har man sett att man behöver använda sig av icke-nominell svetsmodellering för att kunna prediktera svetsens påverkan. Målet är att skapa en digital tvilling av tillverkningsprocessen för kunna prediktera hur en komponent kommer att krympa och deformeras när den svetsas. Detta görs med hjälp av en virtuell kopia som speglar de unika avvikelserna som alltid finns på varje individuell bit.

I det här testet har man utvärderat metoden för icke-nominell svetsmodellering genom att jämföra två olika virtuella modeller med mått från en färdigsvetsad bit. Figur 2 är en jämförelse som visar hur den färdigsvetsade biten avviker från en helt nominell virtuell modell, det röda området visar att den verkliga biten har krympt ihop något när man smälte metallen i svetsömmen. Den här typen av avvikelser kan ställa till problem under tillverkning då toleranserna är mycket små.

Figur 3 visar hur man kan använda svetsmodellering för att förutse vad som kommer att hända med just den här biten när man svetsar. Den virtuella modellen har nu gått igenom en icke-nominell svetsmodellering och resultatet stämmer väl överens med hur verkliga svetsade biten har krympt. Den digitala tvillingen med virtuell svetsmodellering hjälper oss alltså att förutse hur varje unik bit kommer att bete sig när man svetsar den i verkligheten, därmed blir det lättare att planera tillverkningen av till exempel komplexa flygmotor-komponenter med många bitar och svetsömmar.

Samuel Lorin

Ph.D. Computational Engineering and Design
Fraunhofer-Chalmers
samuel.lorin@fcc.chalmers.se

"När en robot utför svetsningen i en cell måste man dessutom simulera åtkomsten för roboten längs banan."

□ FCC

Fraunhofer Chalmers Center (FCC) är ett forskningsinstitut med fokus på avancerad matematik. FCC erbjuder forskning, utvecklar mjukvara och tjänster för industriella tillämpningar. Tillsammans med Geometrisäkringsgruppen, led av Professor Rikard Söderberg, har vi bedrivit forskning kring svetsmodellering i närmare tio år. Exemplet från artikeln kommer från EU Clean Sky JU projekt (DIAS) samt "Databaserad automatiserad produktionsstyrning av fabricerade komponenter" och är ett NFFP7-projekt, lett av GKN med doktorand Hugo Hultman.