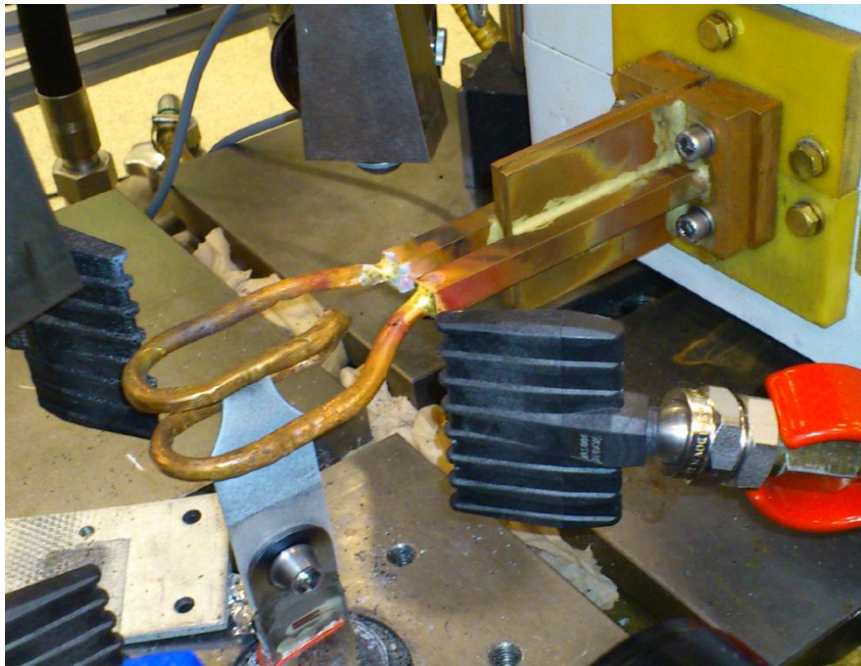


Micro-structure and temperature dependent failure modelling for analysis of hot sheet metal forming (OPTUS hot)



Hans-Åke Häggblad, Karl-Gustaf Sundin och Greger Bergman
2013-01-31
Fordonsutveckling

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	7
3. Syfte.....	8
4. Genomförande.....	8
5. Resultat	9
5.1 Bidrag till FFI-mål	9
6. Spridning och publicering.....	9
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	9
6.2 Publikationer	9
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	9
8. Deltagande parter och kontaktpersoner.....	10

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

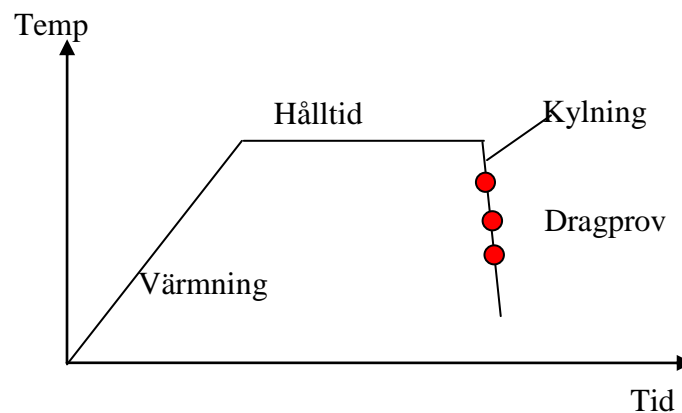
1. Sammanfattning

Mål

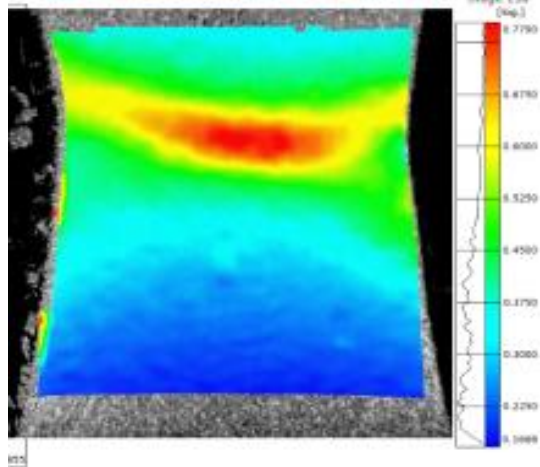
Målet med arbetet är att utveckla simuleringsmodeller som kan prediktera brott vid olika kombinationer av temperatur-historia, mikrostruktur och töjningshastighet samt att utveckla nödvändiga experimentella metoder för detta. Modellerna kommer att implementeras i datorprogram för noggrann simulering av den verkliga produktionsprocessen.

Experiment

För att undersöka materialets egenskaper i olika stadier under härdningsprocessen efterliknas den verkliga temperaturhistorien under experimenten. Det innebär att temperaturen styrs under uppvärmningen, hålls konstant en bestämd tid för att austenit skall hinna bildas och att kylningen forceras. Värmningen sker med hjälp av en induktionsutrustning vars effektpådrag kontrolleras via en återkopplingssignal från ett termoelement svetsat på provstaven. På så sätt rampas temperaturen upp till drygt 900 °C med cirka 16 °C/s. Kylningen under härdningsförloppet sker med tryckluft och startas efter viss hålltid. Dysor fördelar luftströmmen över provstavens yta så att en tillräcklig och jämn kylhastighet (> 50 °C/s) uppnås. Kravet på kylhastighet bestäms på metallurgiska grunder av att man vill uppnå martensitbildning utan att andra faser hinner bildas. Eftersom målsättningen är att kartlägga materialegenskaperna under härdprocessen måste provningen ske när temperaturen under kylningen passerar en förinställd temperatur. Principen framgår av Figur 1.



Figur 1. Princip för temperaturhistoria vid provning

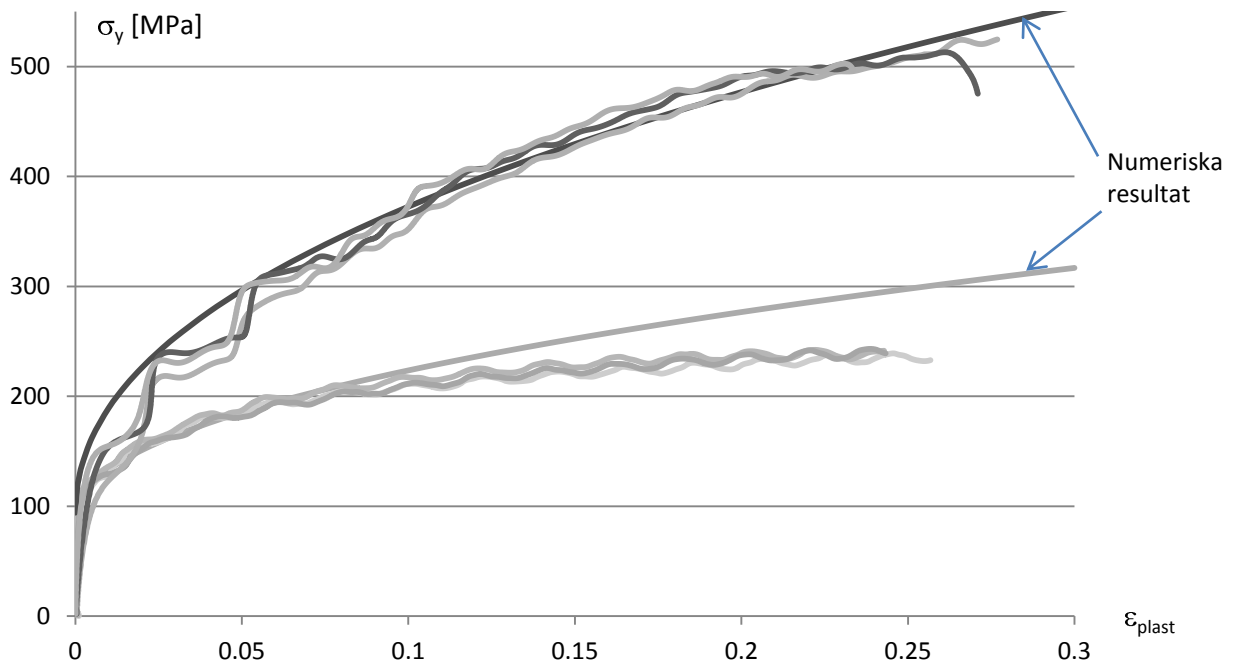


Figur 2. Exempel på töjningsfält strax före brott.

Materialets brotttöjning kan utvärderas från en typ av experiment där provstavsformen gör att brottet startar från en inre punkt i stället för från kanten. Provstavens yta förses med ett mycket fint stokastiskt fördelat mönster av vita och svarta fläckar (speckler) och under belastningen deformeras detta mönster på samma sätt som materialets yta. Ett antal digitala bilder tas under deformationen och från dessa kan töjningens fördelning över ytan beräknas vid tidpunkten för varje bild. Töjningen i den sista bilden före brott ger information om materialets brotttöjning. Se Figur 2. Provningsen görs med en temperaturprofil enligt Figur 1 och med hög belastningshastighet. Därför måste bilderna tas med en mycket snabb kamera och under mätningarna har bildfrekvenser på upp till cirka 50000 bilder per sekund använts.

Modellering

Här har en fysikalisk baserad materialmodell använts. Fysikaliskt baserade modeller har stora fördelar när man t.ex. vill extrapolera utanför det område mätningarna görs i. Temperatur och töjningshastighet har en avgörande betydelse på effekten av dislokationernas rörlighet i ett material. Sia Nemet-Nasser och hans medförfattare har i ett flertal artiklar beskrivit en materialmodell som beskriver sambandet mellan flytspänning, temperatur, töjning och töjningshastighet baserad på fysikaliska samband för dislokationer. I Figur 3 visas exempel på flytspänning som funktion av effektiv plastisk töjning vid olika kombinationer av temperatur och töjningshastighet.

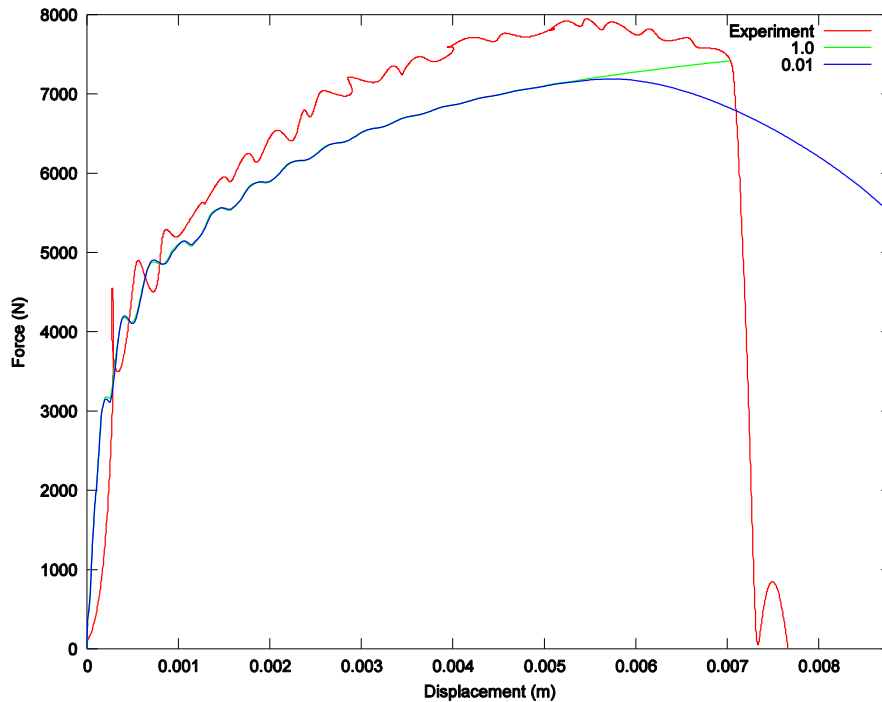


Figur 3. Experimentella och numeriska spänning-töjningskurvor för töjningshastigheten 1 s^{-1} med temperaturen 800 C (nedre) samt för töjningshastigheten 200 s^{-1} med temperaturen 600 C (övre).

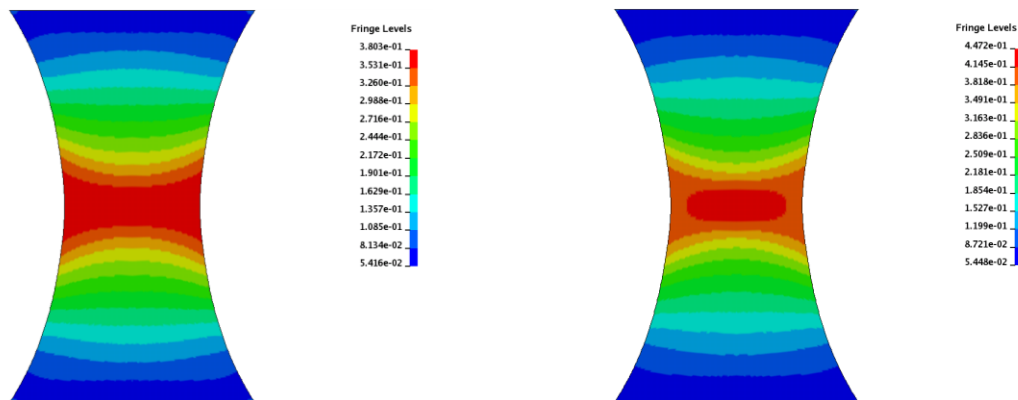
Validering

Validering av materialmodellen med tillhörande materialdata har genomförts genom att jämföra resultat från experiment och FE-simulering. Vi har valt att jämföra uppmätt och beräknad kraft-förskjutning samt brotttöjning. En timglasformad provstavsgeometri har använts. Denna geometri ger ett inhomogent tillstånd med avseende på bland annat spänning och töjning inom området kring radien.

Uppmätt och beräknade kraft-förskjutningskurvor vid 800 °C och draghastigheten 3.7 m/s visas i Figur 4. Maximal kraft i experimentet är 8000 N och i beräkningen 7200 N . I beräkningarna används kurvan för 0.1 s^{-1} som den statiska sträckgränsen. Beroende på hur man antar att denna kurva ser ut vid högre töjningar fås olika resultat. Om man efter en effektiv plastisk töjning på 0.25 låter kurvan fortsätta med samma lutning som sista kurvsegmentet blir resultatet enligt den gröna kurvan 1.0. För den blå kurvan 0.01 har ett hårdnande som motsvarar 0.01 gånger sista kurvsegmentets lutning använts. Från DSP-mätningen har brotttöjningen uppskattats till 0.8 efter ungefär 7 millimeters förskjutning. Motsvarande värde från beräkningen är 0.38 enligt Figur 5. Trots denna stora avvikelse kan modellen fånga den lokalisering som sker i provstaven. Detta sker i beräkningen efter ungefär 7.4 mm och visas i Figur 5. En töjning på 0.8 nås i beräkningen efter 8.5 millimeters förskjutning.



Figur 4. Uppmätt och beräknade kraft-förskjutningskurvor vid 800 °C och draghastigheten 3.7 m/s.



Figur 5. Beräknad töjningsfördelning vid 800 °C och draghastigheten 3.7 m/s efter 7.0 (vänster) och 7.4 (höger) millimeters förskjutning. Hårdnande 0.01.

Slutsatser

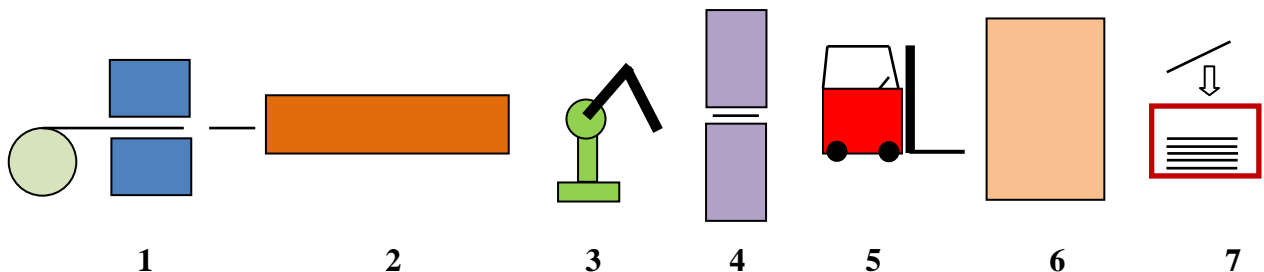
Experimentella metoder är utvecklade för att möjliggöra bestämning av indata till simuleringsmodeller som kan prediktera belastning och brott vid olika kombinationer av temperatur-historia, mikrostruktur och töjningshastighet. Lämpliga materialmodeller är

utvärderade och implementerade i finita element kod. Validerande simuleringar är utförda och jämförda med experiment. Den unika experimentella metodiken som här utvecklats tillsammans med simuleringsmodellerna ger stora möjligheter att utveckla presshärtningsprocessen för säkerhetsdetaljer i framtida bilmodeller.

2. Bakgrund

Presshärtning som process uppfanns på 70-talet av dåvarande Norrbottens Järnverk samt Luleå Tekniska Högskola. Tekniken kan sammanfattas i nedanstående steg för kall- och varmvalsat obelagt material, se även Figur 6. En mycket viktig processteg är steg 4 i Figur 6, ”Formning och härdning i kylda verktyg”. För att utveckla detta processteg ytterligare krävs utveckling av avancerade datorbaserade beräkningsverktyg. Detta projekt har adresserat denna uppgift.

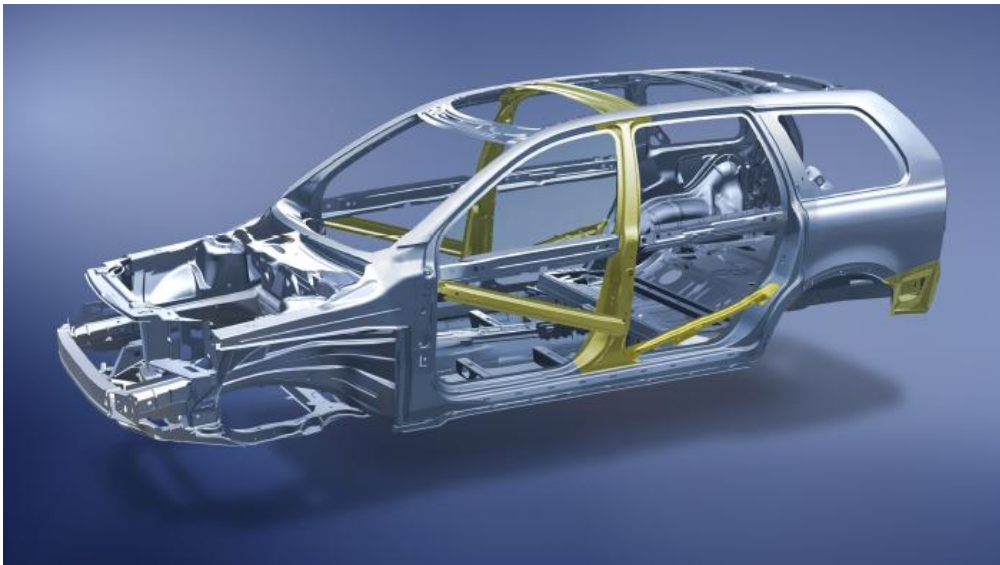
1. Stansning av plåtämnen
2. Värmning av ämnen till austenitisering i gas- eller eluppvärmd ugn
3. Hantering av ämnen mellan ugn och press
4. Formning och härdning i kylda verktyg
5. Intern transport till ytrenigöring
6. Ytrenigöring genom blästring alternativt betning
7. Emballering/paketering av komponenter till kund



Figur 6. Schematisk illustration av presshärtningsprocessen.

I presshärtningsprocessen används ett så kallat låglegerat stål (tunnplåt i tjocklekarna 1 - 3 mm) vilket på grund av detta har ett relativt lågt pris. Det stål som används benämns 22MnB5 alternativt Boron02 vilket har en kolhalt mellan 0.2 och 0.25 vikt% tillsammans med relativt låga mängder andra legeringselement gör det svetsbart. Genom de legeringstillsatser som används har stålet i fråga god härdbarhet samt en bra kombination av mekaniska egenskaper såsom hög initiell sträck- respektive brottspänning samt god duktilitet. Den goda härdbarheten kommer genom tillsats av legeringselementen mangan, krom, kisel och bor. Största delen av produktionen av presshärdate komponenter används

inom bilindustrin runt om i världen. Användningen av ultra höghållfasta stål, dit det presshårdade materialet tillhör, används med fördel som säkerhetskomponenter i karosser pga. dess goda mekaniska egenskaper, vilket medger stora viktbesparingar med bibehållen eller ökad passiv säkerhet. Då främst som element i karossens säkerhetsbur såsom a-, b-, c-stolpar, sidokrockskydd och takbågar men även som stötfångarprofiler både fram och bak. Några av dessa komponenter illustreras i Figur 7. Reduktionen av karossvikten ger omedelbart reduktion av energiåtgången för att framföra fordonet, vilket naturligtvis ger en reduktion av CO₂ emissioner. Användningen av de ultra höghållfasta stålen väntas få en kraftig ökad användning i framtida fordonskarosser, inte bara i personbilar utan även i tyngre fordon såsom lastbilar och bussar. I fallet med lastbilar finns stora ekonomiska och miljömässiga vinster att göra med att reducera fordonens egenvikt och därmed möjlighet till ökad nyttolast.



Figur 7. Illustration av några ultra höghållfasta säkerhetskomponenter, här markerade i gult.

3. Syfte

Syftet med projektet har varit att vidareutveckla beräkningsverktyg och experimentell metodik för modellering och simulering av presshårdning av borstål (se steg 4 i Figur 6).

4. Genomförande

Projektet har skett i nära samarbete mellan Gestamp HardTech AB och Avdelning material-och solidmekanik vid Luleå tekniska universitet (LTU) .

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Ett av programmet mål är att väsentligt bidra till att reducera alla förluster vid tillverkningsberedning och markant reducera tillverkningsprocessernas miljöpåverkan. Detta projekt har stärkt kunskapen inom området för virtuell tillverkningsberedning vilket skapat förutsättning för att utföra mer noggranna formningsanalyser. Detta resultat reducerar kostnaden och framförallt tiden för utveckling av nya varmformade komponenter till fordonsindustrin.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Den implementerade och kalibrerade modellen för varmformningsanalyser används nu dagligen av formningsanalytiker på Gestamp's R&D- och Tech centers i Europa.

6.2 Publikationer

Inga externa publikationer har släppts till dags dato, men närvaro med projekt posters vid FFI-konferenser.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

För att erhålla indata till simuleringsmodeller har en mätmetod utvecklats för töjningsfältsmätning i varmt tillstånd och vid höga töjningshastigheter. Dragprov med provstavsgeometrier som ger olika spänningstillstånd (treaxilitet) kan nu testas under förhållanden som är jämförbara med tillståndet för det formade ämnet i varmformningsprocessen. Utförda dragprover i varmt tillstånd har används för kalibrering av den utvecklade materialmodellen som används för varmformningsanalyser.

Den utvecklade och implementerade modellen tar hänsyn till materialets temperatur- och töjningshastighetsberoende hårdnande/mjuknande i austenitiskt tillstånd. Modellen inkluderar dock inte ett temperaturberoende samband för lokal brottförlängning för användning vid en generell temperaturhistoria, vilket var en av målsättningarna med projektet.



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

8. Deltagande parter och kontaktpersoner



R&D

Kontaktperson

Greger Bergman

GBergman@se.gestamp.com



Luleå tekniska universitet

Kontaktperson

Mats Oldenburg

mats.oldenburg@ltu.se



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM
Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 473 30 00