Simulation von Trenn- und Fügeprozessen mit netzfreien Methoden

Raphael Heiniger, Bernd Hochholdinger - DYNAmore Swiss GmbH an Ansys Company

© 2023 DYNAmore GmbH

Inhalt

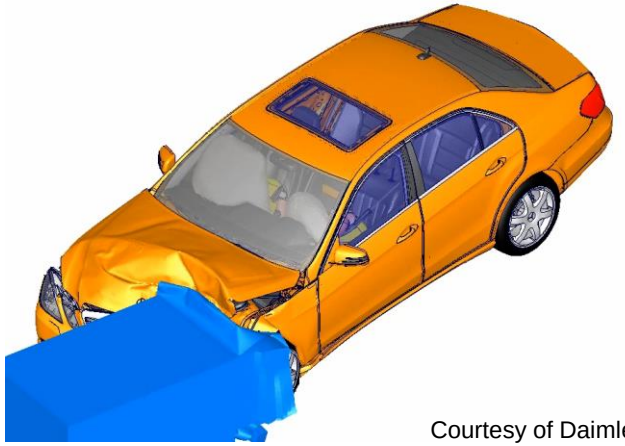
- Motivation
- Netzfreie Methoden
- Beispiele für Trenn- und Fügeprozesse
- Ausblick
- Résumé

© 2023 DYNAmore GmbH

DYNAmore Swiss GmbH an Ansys Company

- seit 2012 im TECHNOPARK Zürich
  - Spin-off der ETH Zürich, Institut für virtuelle Produktion
  - Tochterunternehmen von DYNAmore in Deutschland

- Simulationssoftware LS-DYNA
  - Support & Vertrieb von LS-DYNA
  - Berechnungsprojekte mit LS-DYNA in CH & weltweit
  - Forschungs- und Entwicklungsprojekte
  - Weiterentwicklung von LS-DYNA



Courtesy of Daimler AG

- Januar 2023: Übernahme von DYNAmore durch Ansys

© 2023 DYNAmore GmbH

Motivation

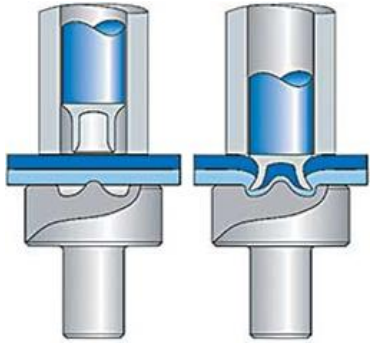
© 2023 DYNAmore GmbH

Motivation

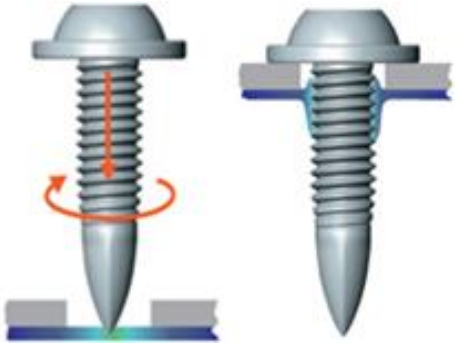
Trenn- und Fügeprozesse

- Schweissen, Löten
- Schrauben, Nageln
- Nieten, Falzen, Bördeln
- Pressen
- Kleben
- Fräsen
- Bohren
- Stanzen
- Schneiden

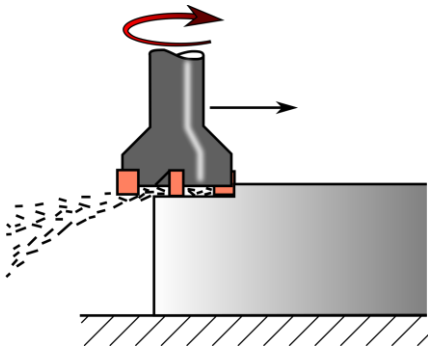
usw.



Halbhohlstanznieten (SPR)

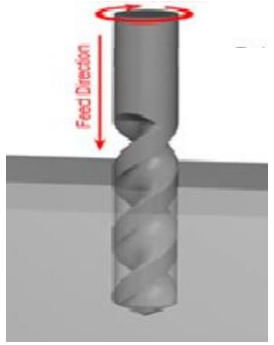


Fliessbohren



Fräsen

Quelle: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7260797



Bohren

Quelle: https://www.semanticscholar.org/paper/Drilling-of-Glass-Fiber-Reinforced-Polymer-(GFRP)-Singh/ecf1ab8599e78b1146b491660a24ac658acde648

In Trenn- und Füge-prozessen treten **große Deformationen** und **Materialversagen** auf.

© 2023 DYNAmore GmbH

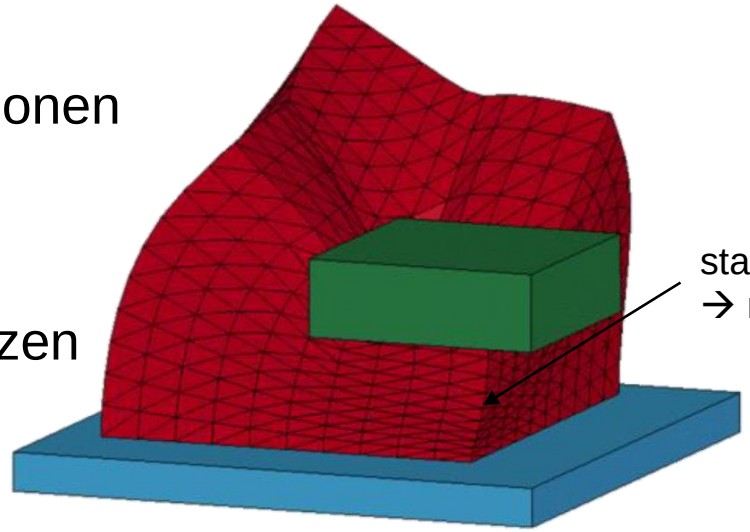
Motivation

Limitationen der Finite Elemente Methode

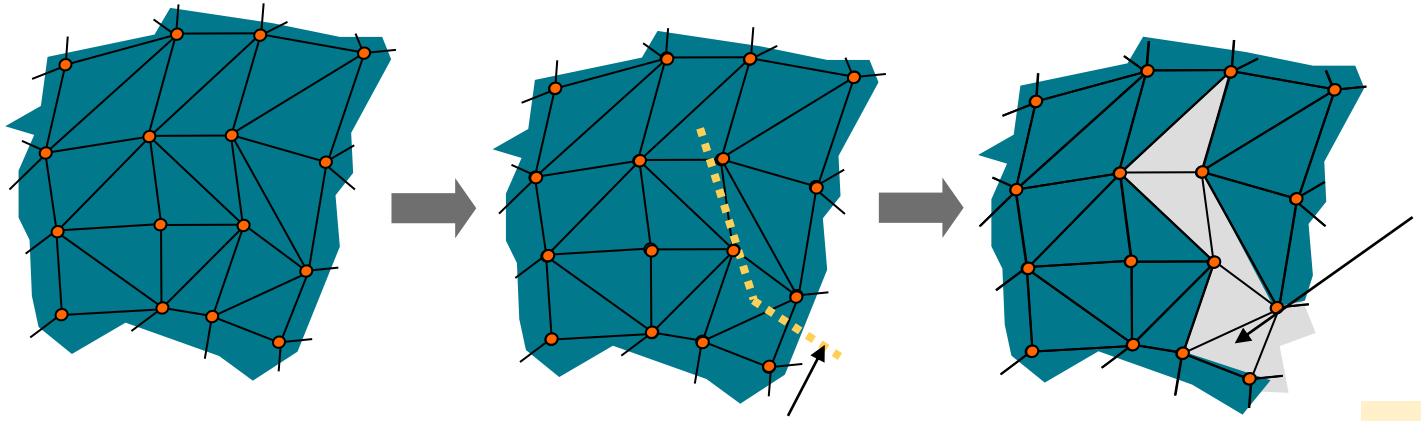
- Starke Verzerrung der Elemente bei grossen Deformationen
- Versagensabbildung durch ausfallende Elemente
- Versagenskriterien modell- und netzabhängig
- Elementerosion führt zur Verletzung von Erhaltungssätzen

kann unphysikalische Ergebnisse zur Folge haben

- Unterschätzung von Kräften/Momenten
- Falsche Schädigungs- und Versagensmuster



stark verzerrte Elemente
→ negative Volumen



Rissbildung

gelöschte Elemente
→ Masse/Energieverluste

© 2023 DYNAmore GmbH

Netzfreie Methoden

© 2023 DYNAmore GmbH

Netzfreie Methoden

Übersicht

- **SPH (Smooth Particle Hydrodynamics)**
- **SPG (Smoothed Particle Galerkin)**
- DEM (Discrete Element Method)
- EFG (Element Free Galerkin Method)
- ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method)
- Peridynamics

SPH	SPG*
Explizit Kollokations Methode Effizient, weniger genau	Explizit/Implizit Galerkin Methode Genau, weniger effizient
Schwierig zu Koppeln mit FEM	Einfach zu Koppeln mit FEM
Impulsgetriebene Probleme mit hohen Geschwindigkeiten	Festigkeitsprobleme mit niedrigen Geschwindigkeiten bis impulsgetriebene Probleme mit hohen Geschwindigkeiten
Aufprall/Durchdringung Zähe/Kompressible Flüssigkeiten Strömung an der freien Oberflächen	Aufprall/Durchdringung Crash-Tauglichkeit, Fertigung Kompressible/Inkompressible Flüssigkeiten Materialversagen
2D und 3D	3D
Zug-Instabilität “low energy modes” Parameter für künstliche Stabilisierung	Stabil und konvergent Selbstkontakt

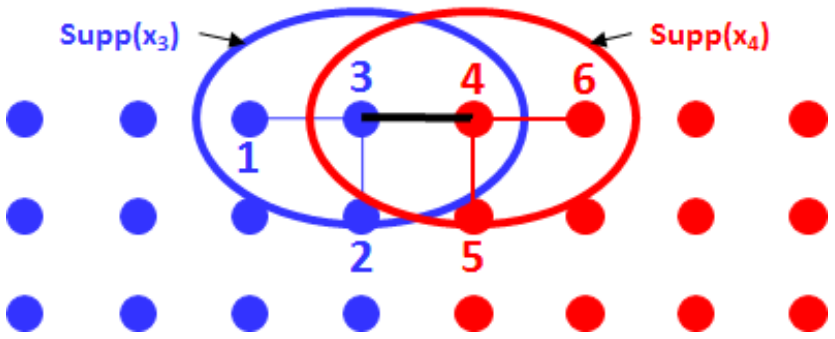
* exklusiv in LS-DYNA verfügbar ab R12, Features werden ständig erweitert

© 2023 DYNAmore GmbH

Netzfreie Methoden

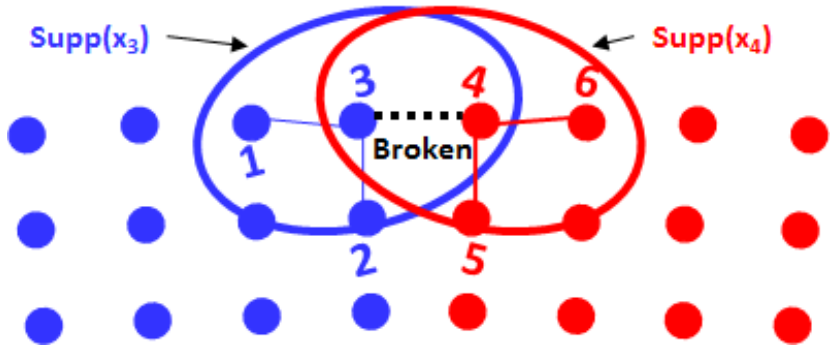
SPG - Smoothed Particle Galerkin

- Interaktion der Knoten durch «Kernel Support» / Einflusszonen
- Ansatzfunktionen werden basierend auf Knoten im «Supportbereich» gebildet



$$\sum_{I=1}^{4} \Phi_I(\mathbf{x}_3) = 1.0 \qquad \sum_{I=3}^{6} \Phi_I(\mathbf{x}_4) = 1.0$$

- «Bond Failure» Mechanismus:
  - Jedes Knotenpaar im «Support» wird als «Bond» behandelt
  - «Bond» wird aufgehoben wenn Versagenskriterien erfüllt sind
    - Typische Versagenskriterien: eff. plast. Dehnung, Schädigung
  - Beispiel: Versagen des Bonds zwischen Knoten 3 und 4
    - Knoten 4 wird aus dem “Support” von Knoten 3 entfernt
    - Ansatzfunktionen werden neu mit den verbleibenden Knoten gebildet



$$\sum_{I=1}^{3} \Phi'_I(\mathbf{x}_3) = 1.0 \qquad \sum_{I=4}^{6} \Phi'_I(\mathbf{x}_4) = 1.0$$

© 2023 DYNAmore GmbH

Netzfreie Methoden

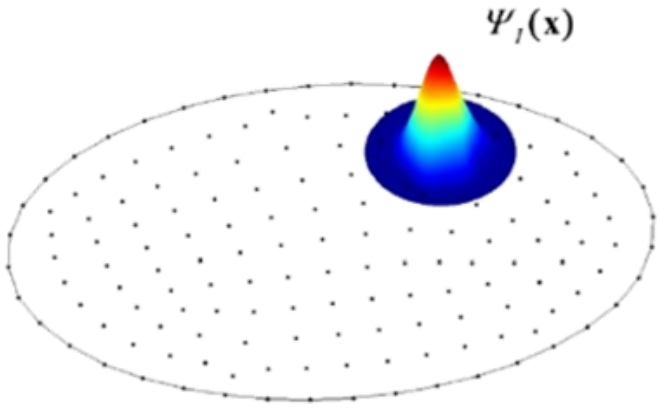
SPG vs. FEM

- Berechnungsgebiet
  - SPG Partikelkonnektivität basiert auf Knotenstützpunkten / Einflusszonen
  - FEM Elemente / Knoten

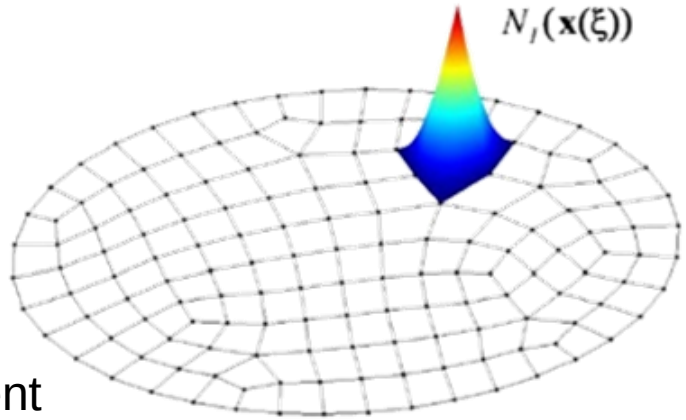
- Vorteile SPG
  - Schnelle Netzerstellung
  - Keine Elementverzerrungsprobleme bei grossen Materialdeformationen
  - Elemente müssen nicht gelöscht werden bei Materialversagen

- SPG → Hohe Berechnungskosten
  - Höhere CPU-Zeiten und Speicheranforderungen
  - Mehr Abhängigkeiten als FEM da:
    Anzahl Nachbarknoten im Supportbereich >> Anzahl Knoten pro FEM Element

Particle method



FEM



© 2023 DYNAmore GmbH

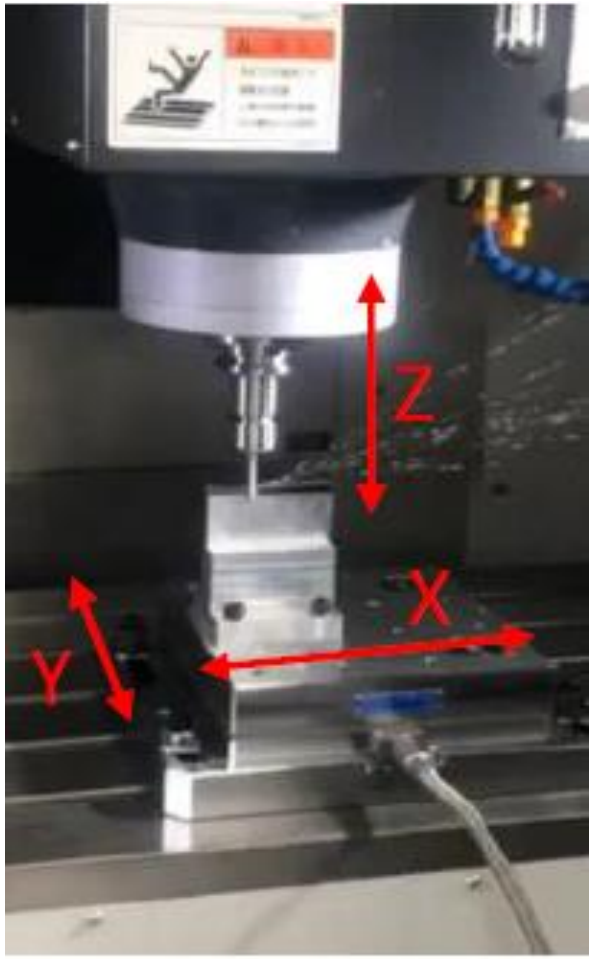
Beispiele für Trenn- und Fügeprozesse

Fräsen / Schneiden

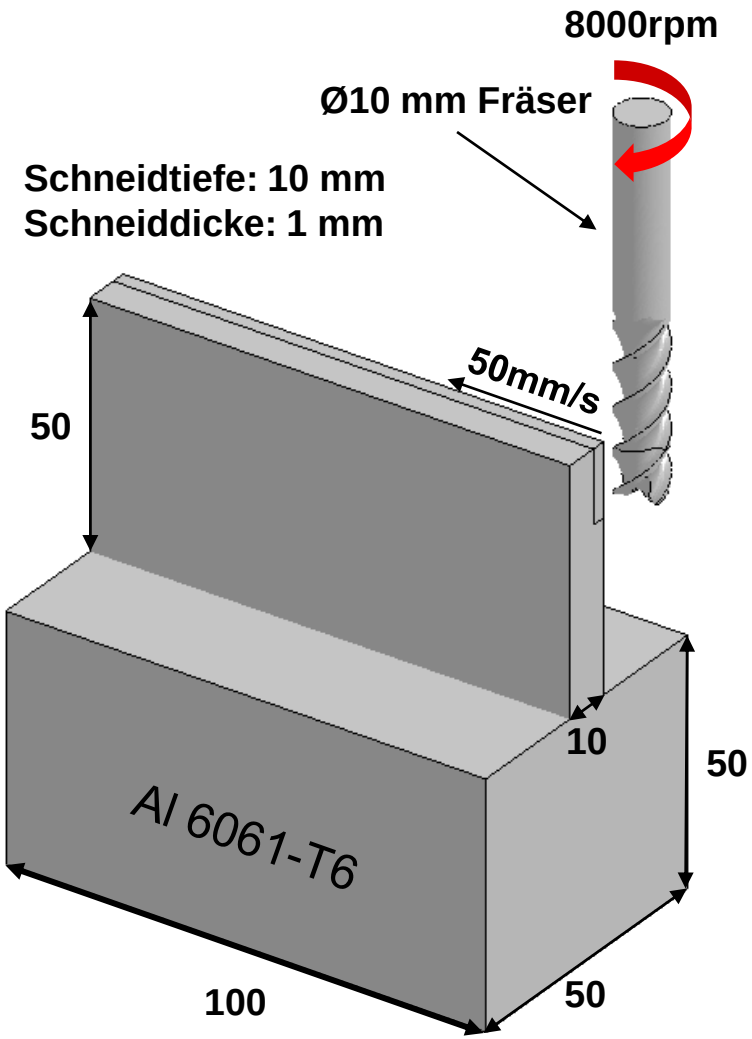
© 2023 DYNAmore GmbH

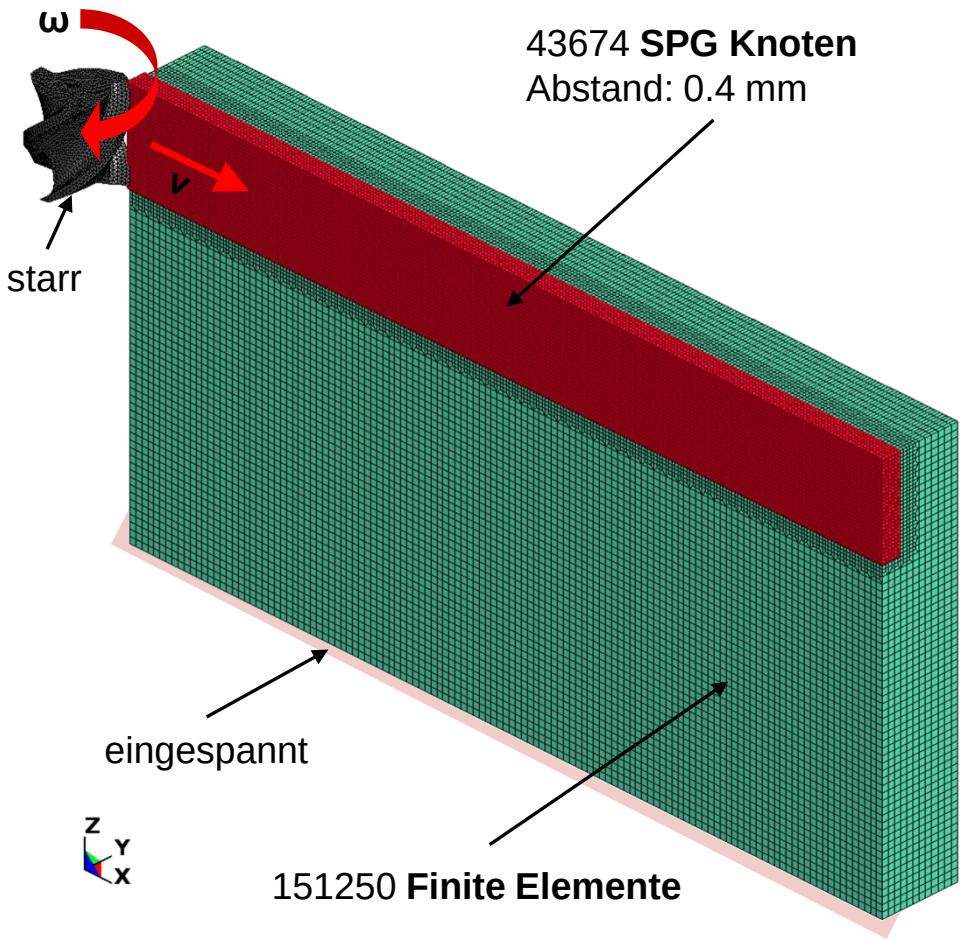
Fräsen

Simulationsmodell



Courtesy of ITRI

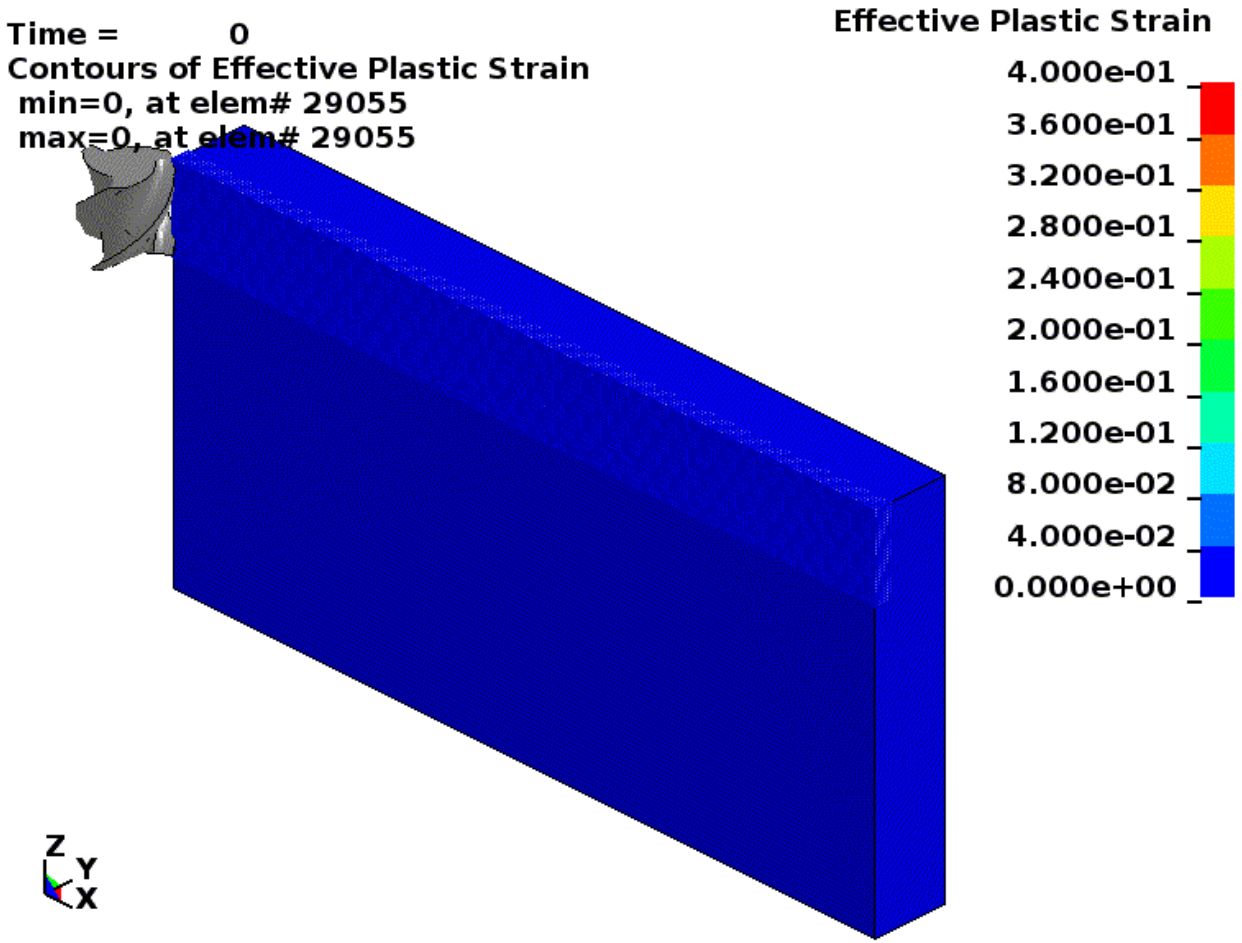




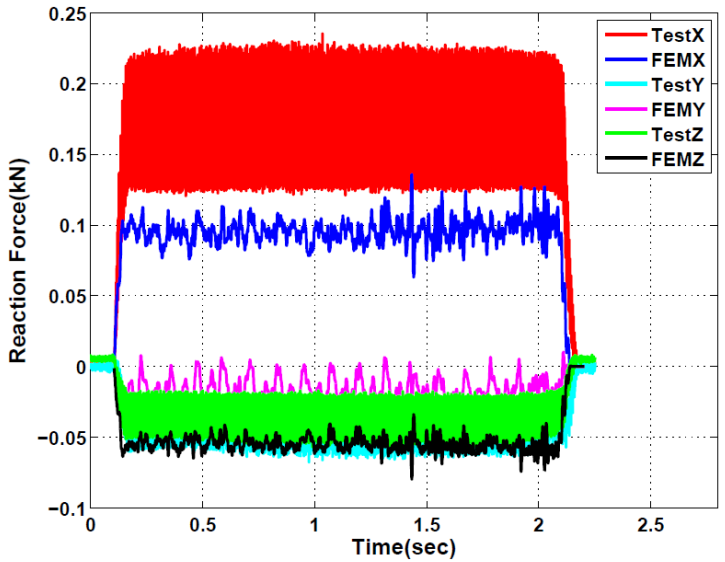
© 2023 DYNAmore GmbH

Fräsen

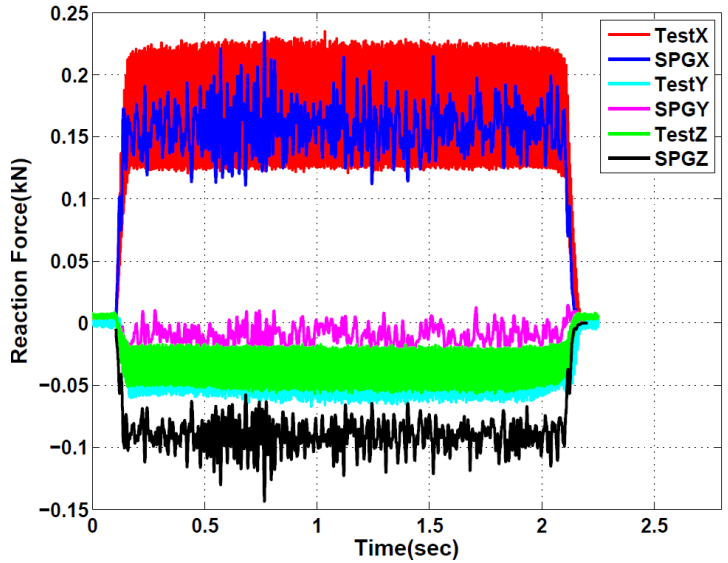
Simulationsergebnisse: FEM vs. SPG



FEM – Modell
(löschen der ausfallenden Elemente)



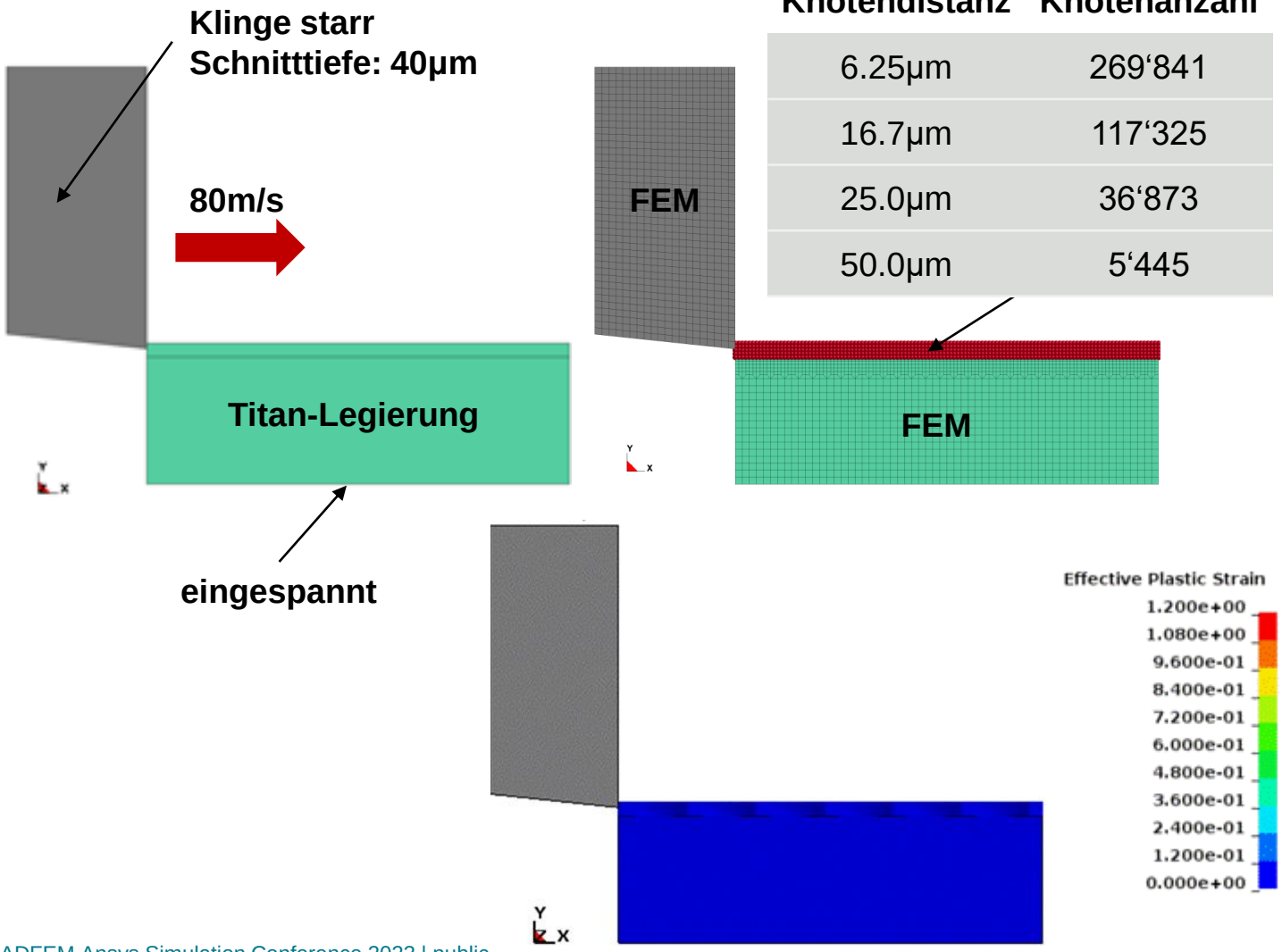
SPG - Modell



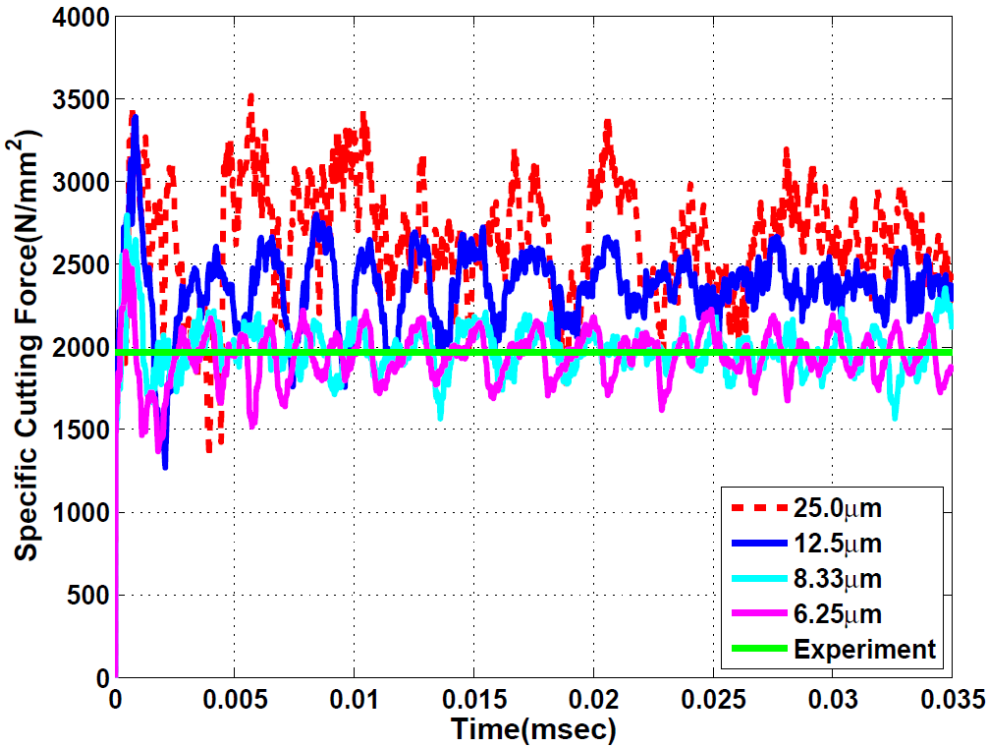
© 2023 DYNAmore GmbH

Schneiden

Einfluss der Diskretisierung auf die Prozesskräfte beim Schneiden von Metall



SPG Knotendistanz	SPG Knotenanzahl
6.25µm	269‘841
16.7µm	117‘325
25.0µm	36‘873
50.0µm	5‘445



Experimental data source: Olleak AA, El-Hofy HA. Prediction of cutting forces in high speed machining of Ti6Al4V using SPH method. Proceedings of the 10th ASME 2015 manufacturing science and engineering conference, Charlotte, NC, USA, June 8-12, 2015.

© 2023 DYNAmore GmbH

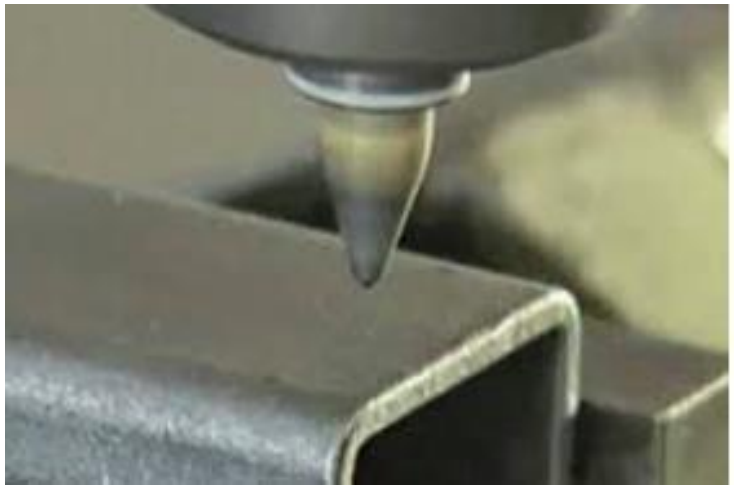
Beispiele für Trenn- und Fügeprozesse

Fliessbohren / Fliesslochformende Schraube / Holzschraube

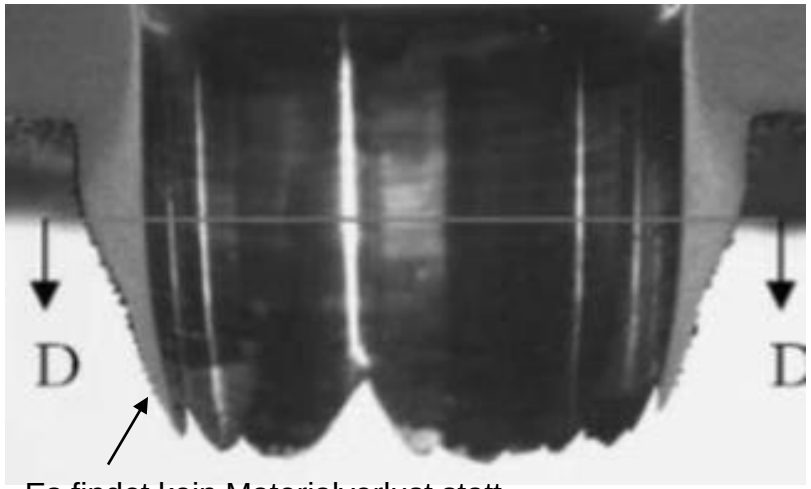
© 2023 DYNAmore GmbH

Fliessbohren (Friction Drilling)

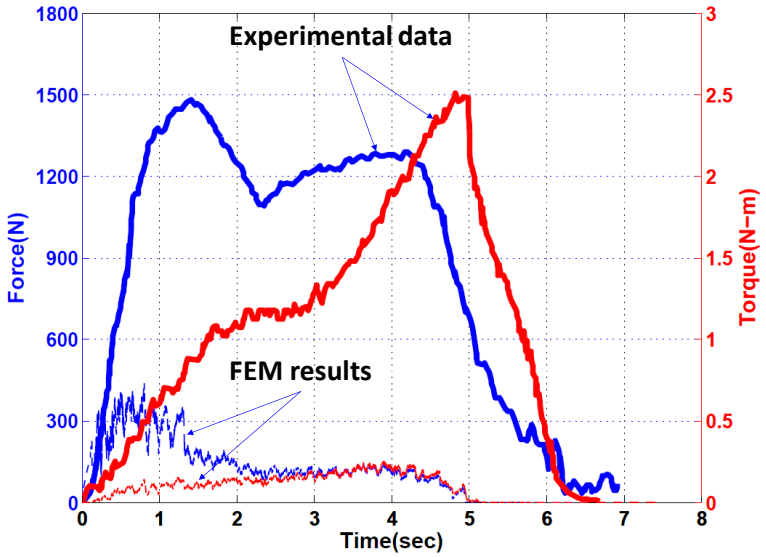
Vergleich FEM vs. SPG

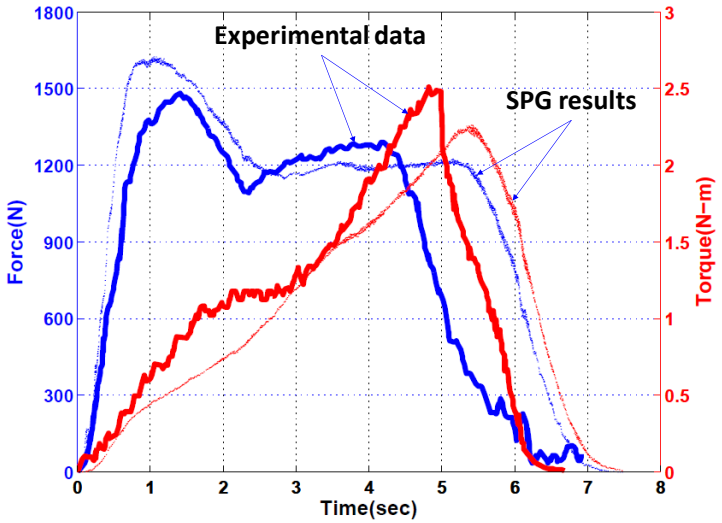


Quelle: Krasauskas P, Kilikevičius S, Česnavičius R, Pačenga D. Mechanika 2014;20(6):590-595

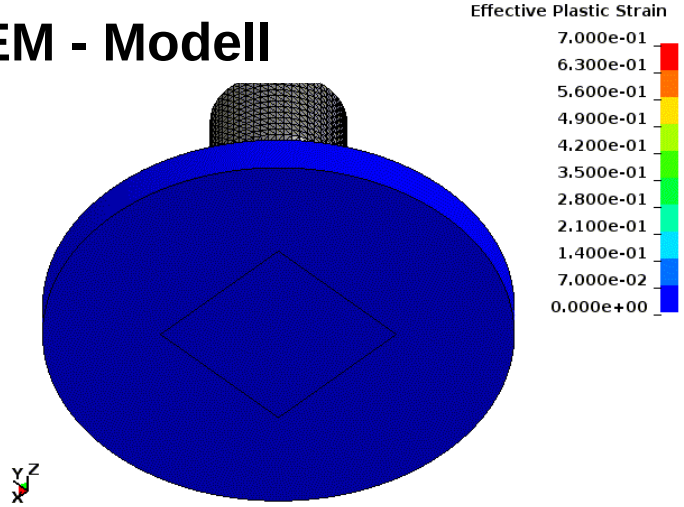


Es findet kein Materialverlust statt

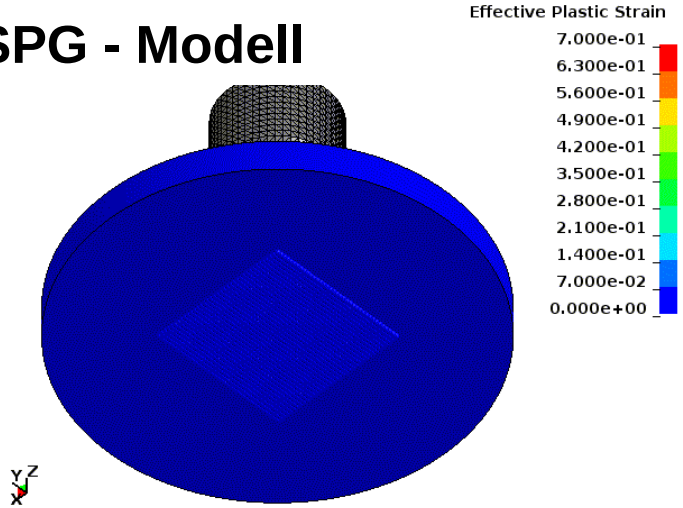




FEM - Modell



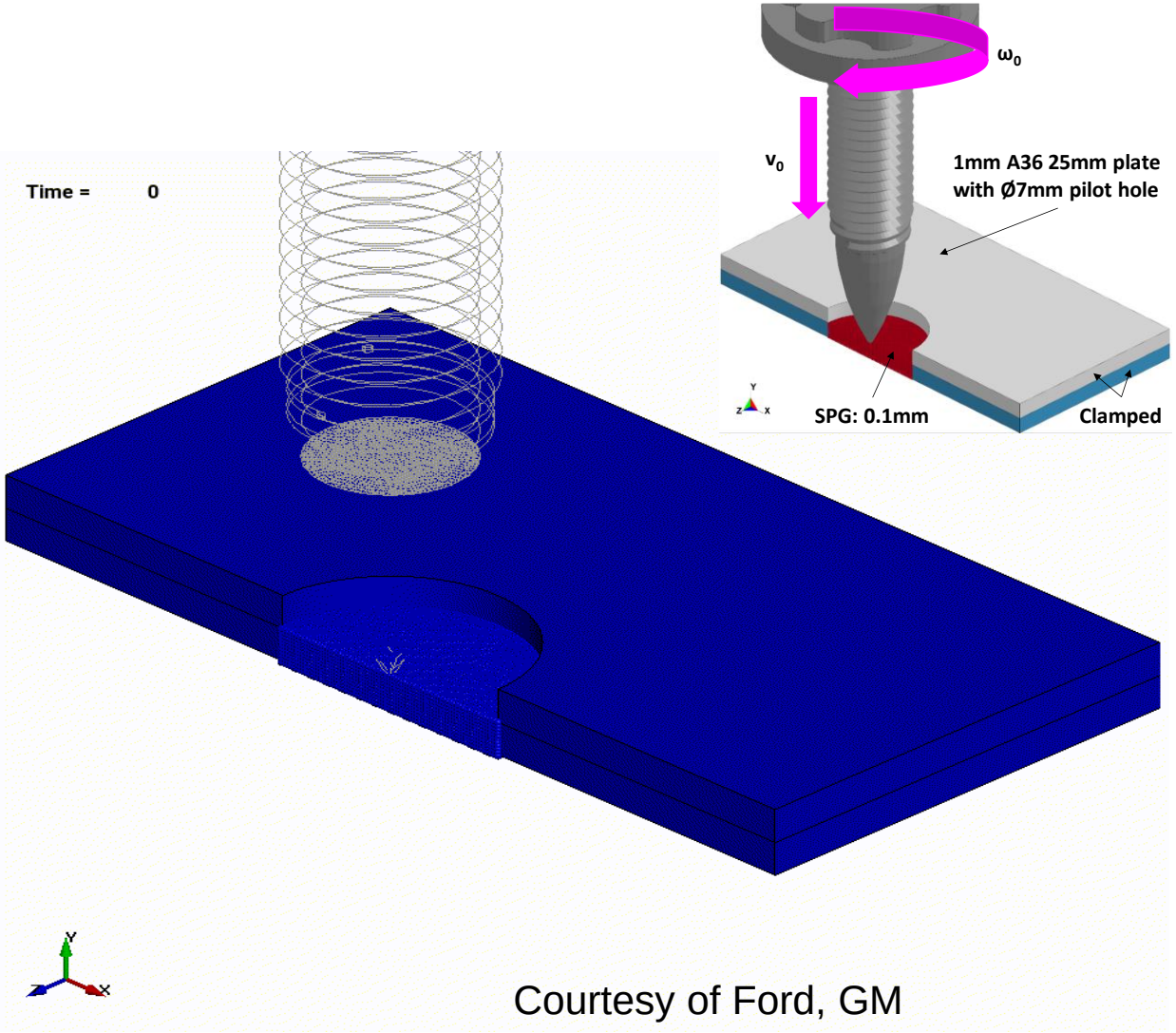
SPG - Modell



© 2023 DYNAmore GmbH

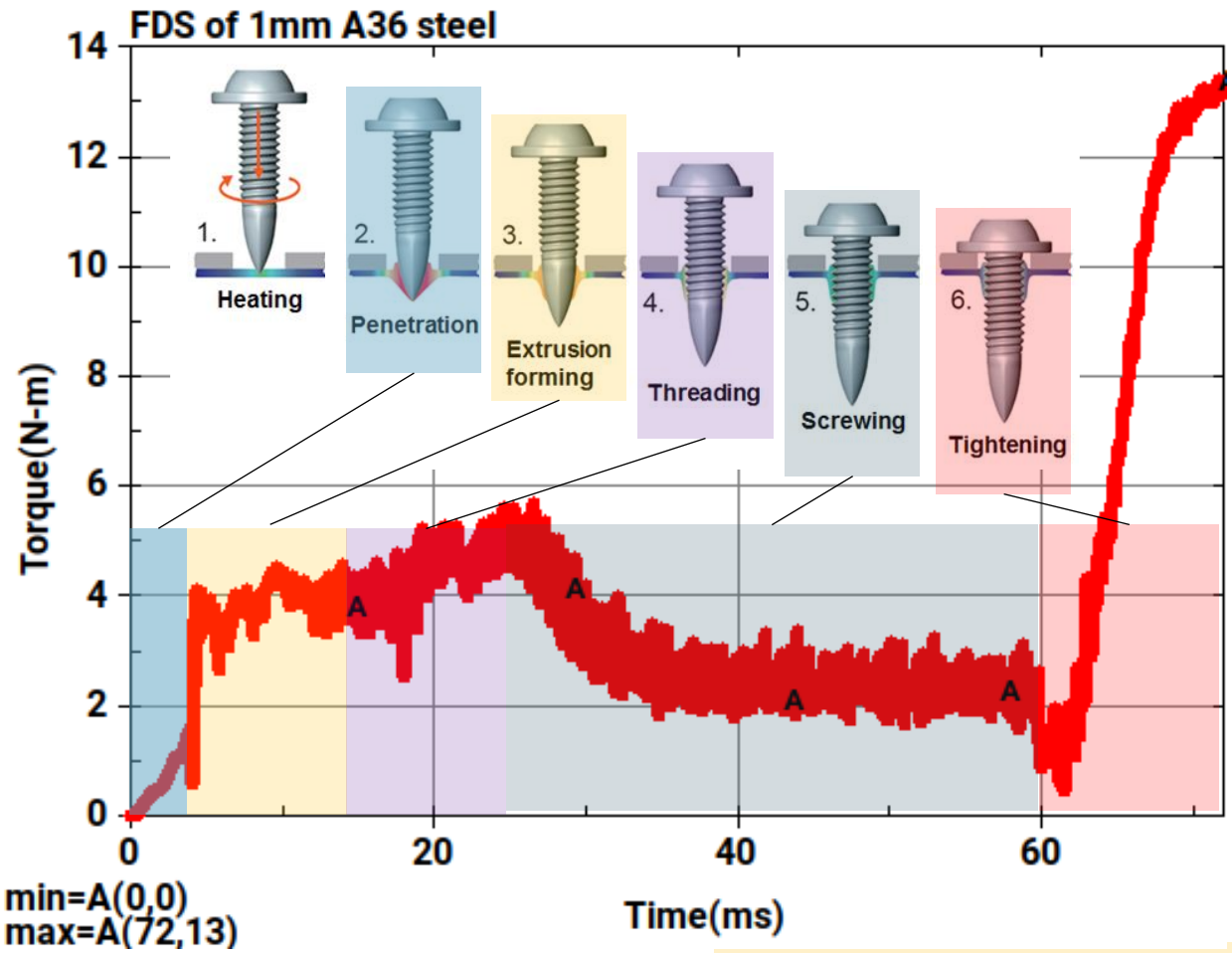
Fliesslochformende Schraube (FDS)

Einschrauben und Ausformung des Gewindes



Courtesy of Ford, GM

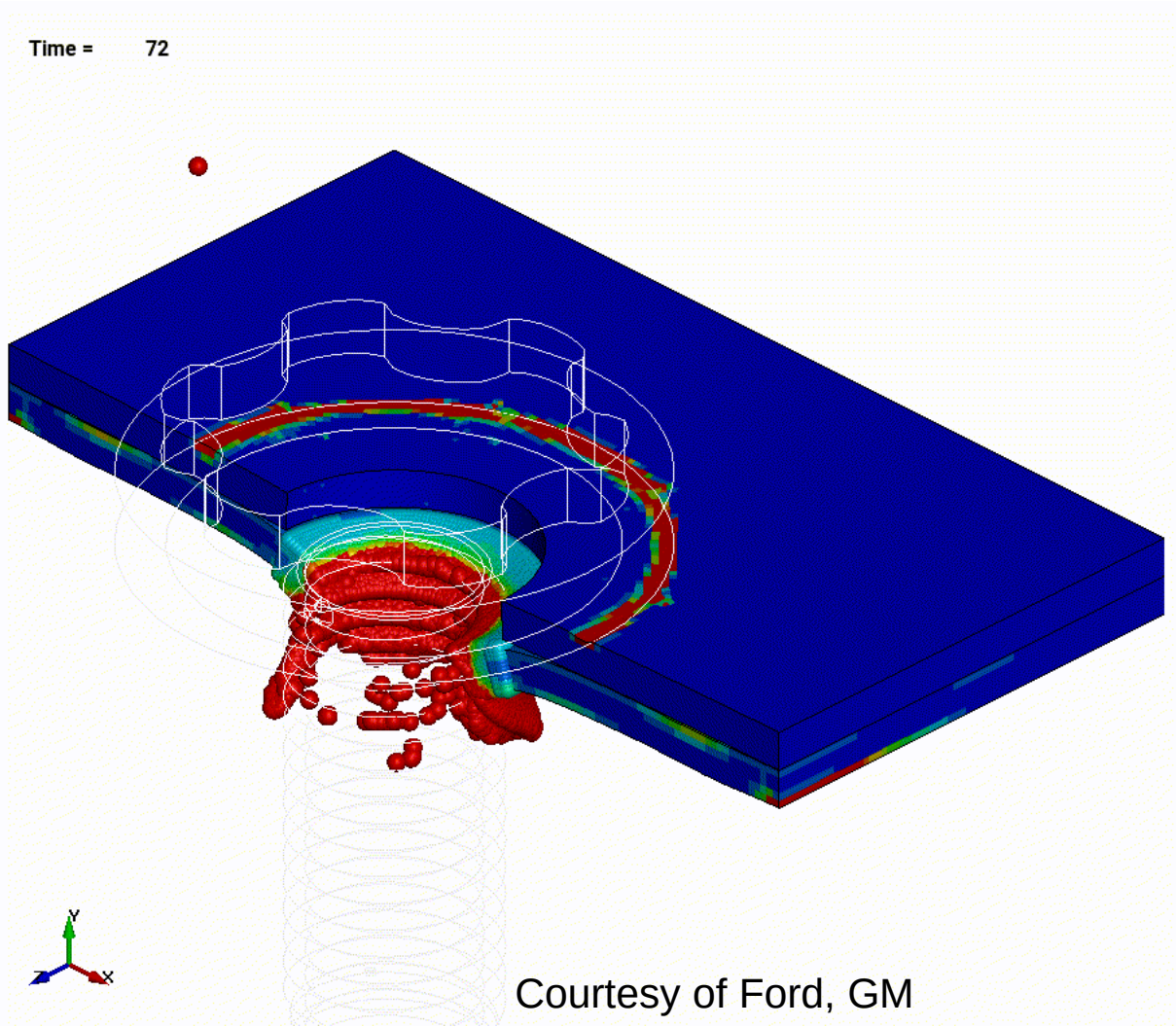
- Moment-Zeit Verlauf



© 2023 DYNAmore GmbH

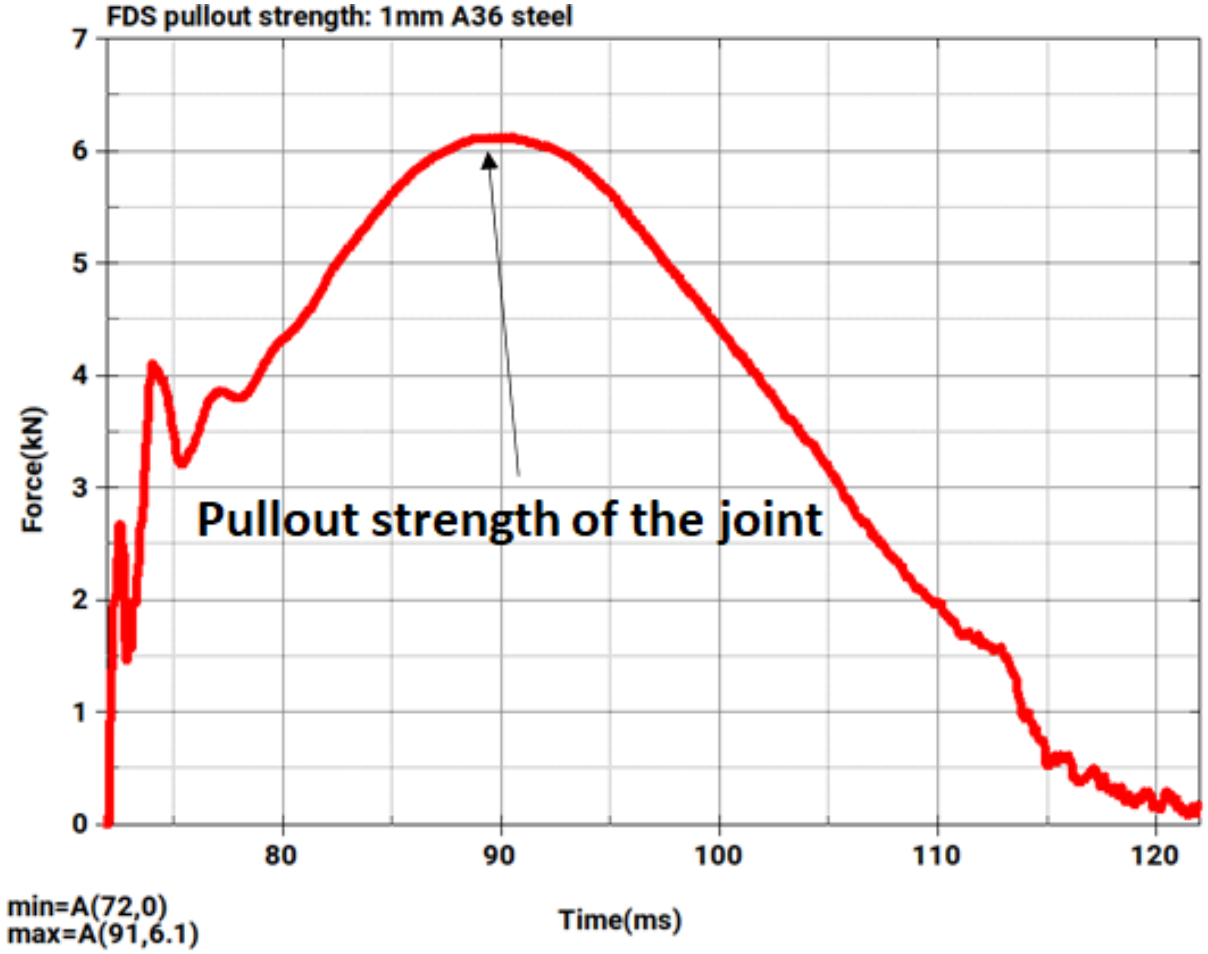
Fliesslochformende Schraube (FDS)

Auszug der Schraube



Courtesy of Ford, GM

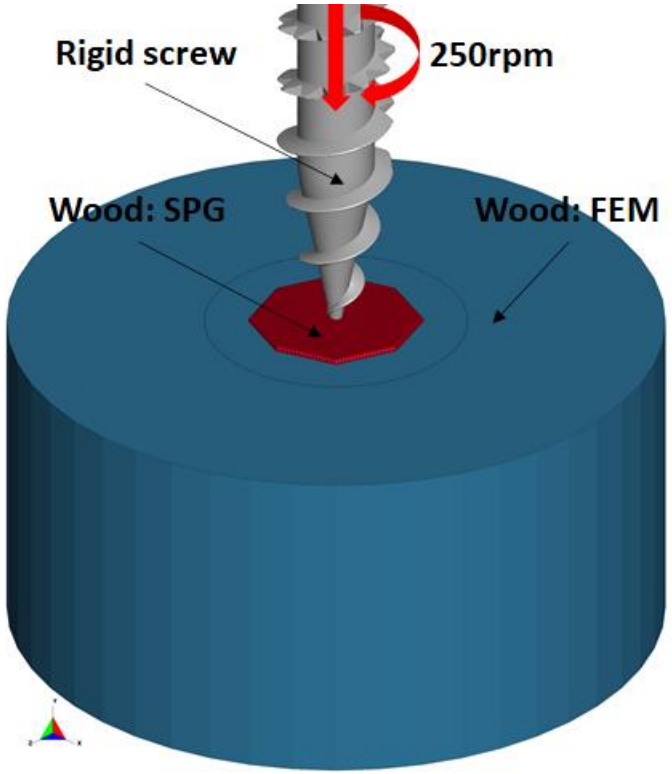
- Kraft-Weg Verlauf

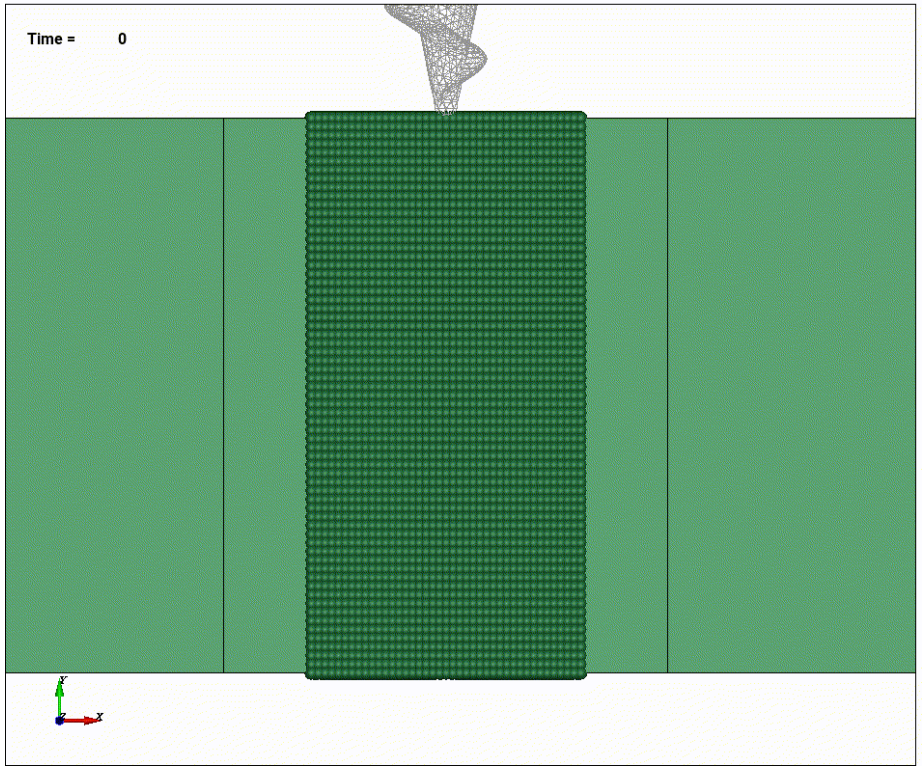


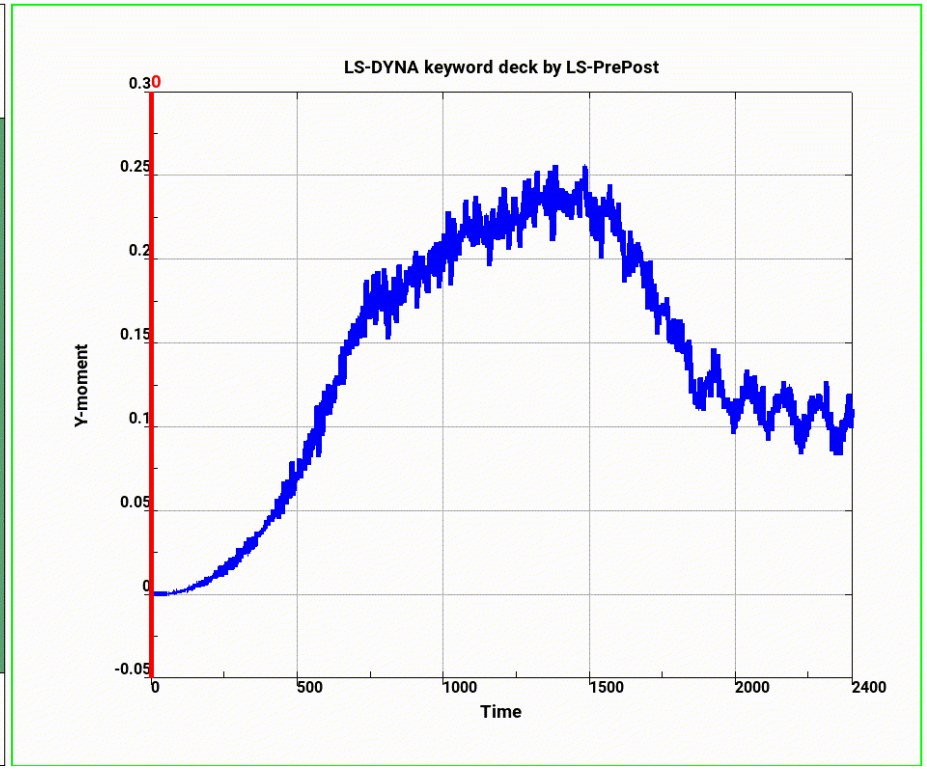
© 2023 DYNAmore GmbH

Holzschraube

Holz bestehend aus orthotropem Material mit Schädigung







© 2023 DYNAmore GmbH

Beispiele für Trenn- und Fügeprozesse

Halbhohlstanznieten

© 2023 DYNAmore GmbH

Halbhohlstanznieten (SPR)

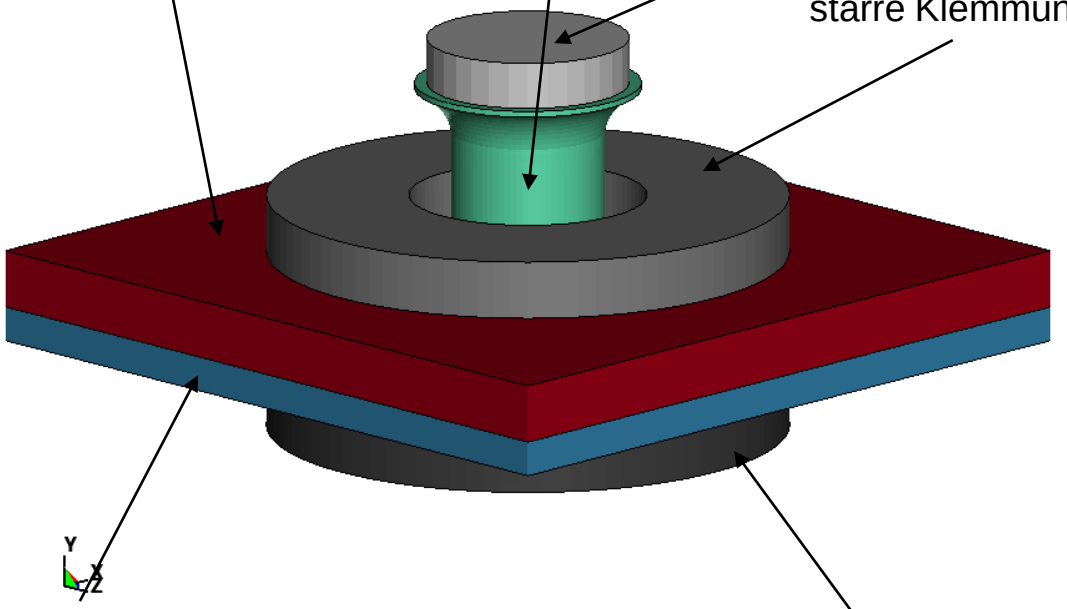
Simulationsmodell

Aluminumblech:
L x B = 25.4 mm x 25.4 mm
Dicke = 2.0mm

Niet:
Φ5.3 mm

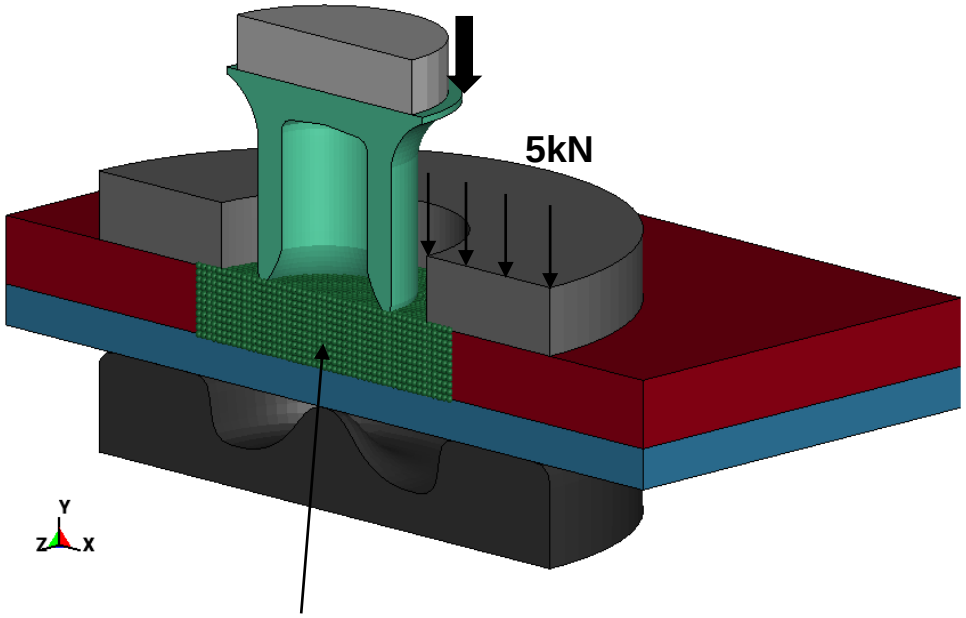
starres Setzwerkzeug

starre Klemmung



Stahlblech:
Dicke = 1.2 mm

starre Matrize

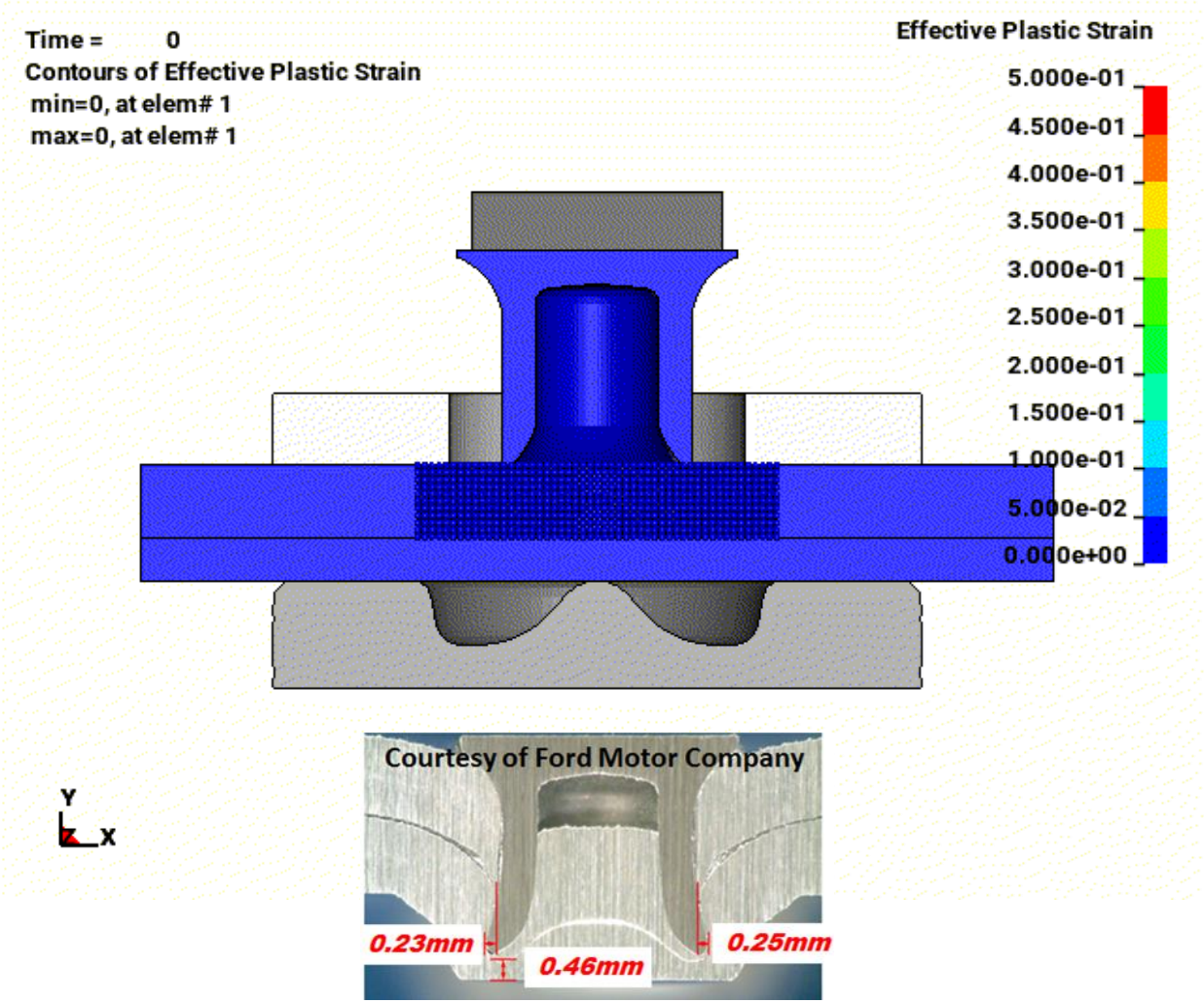


SPG
Knotenabstand: 0.2 mm
24000 Knoten

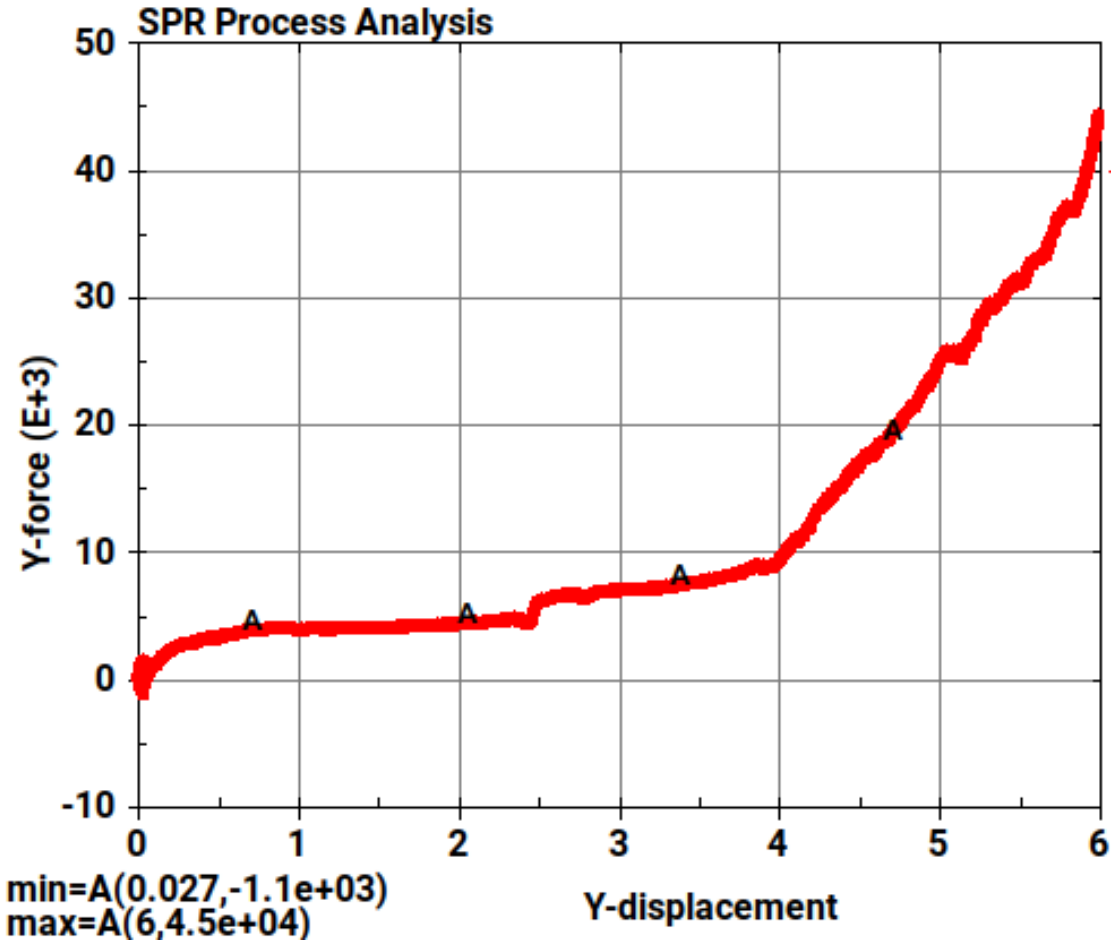
© 2023 DYNAmore GmbH

Halbhohlstanznieten (SPR)

Simulation des Setzprozesses



- Kraft-Weg Verlauf

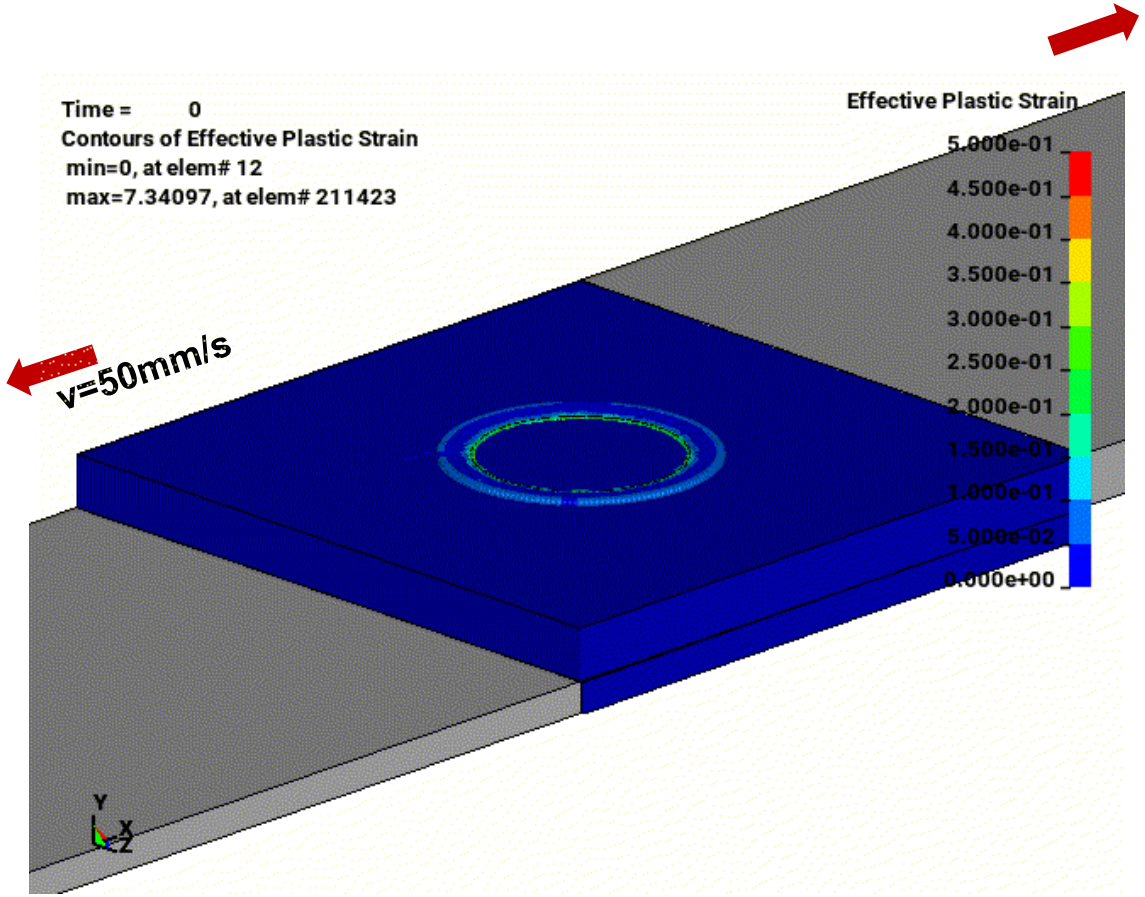


© 2023 DYNAmore GmbH

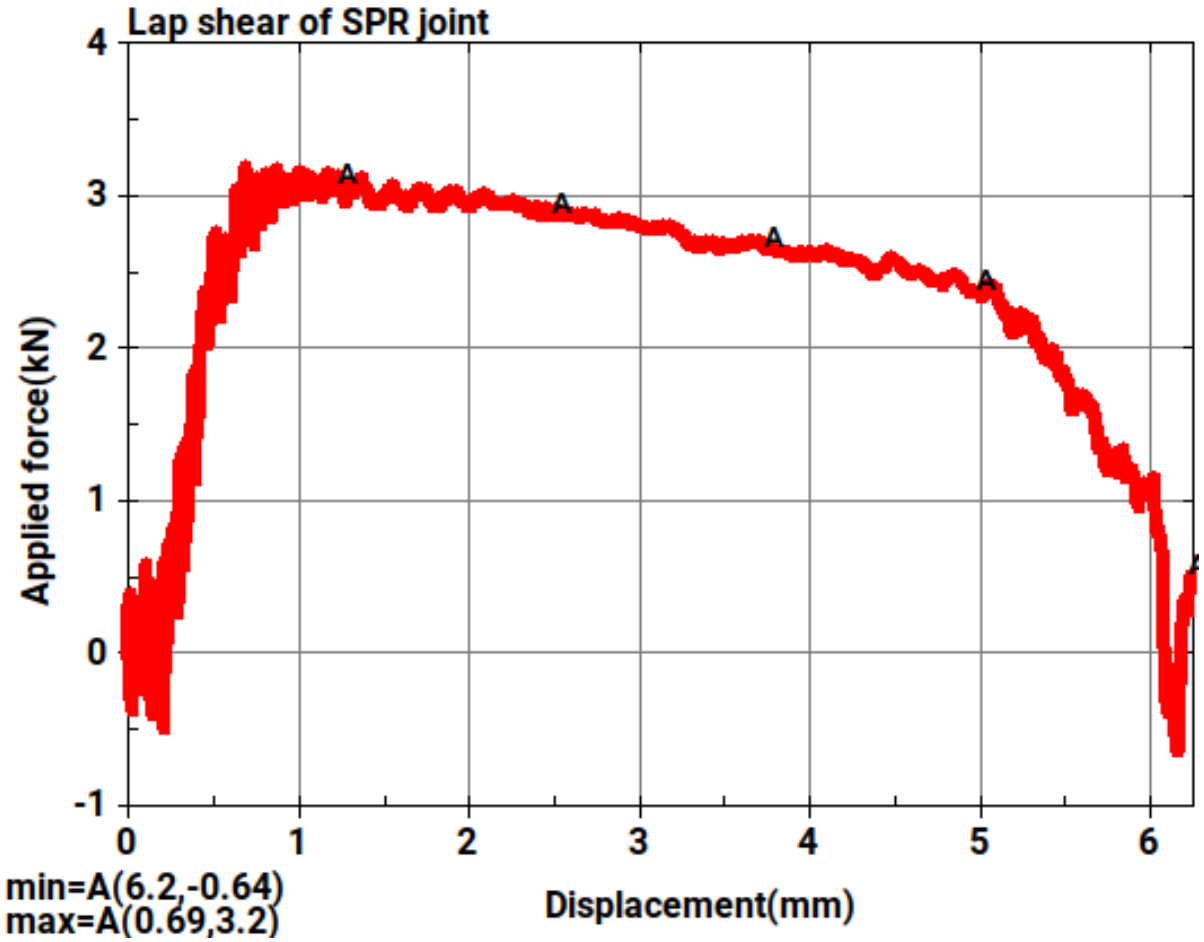
Halbhohlstanznieten (SPR)

Simulation Zugscherversuch (Lap shear test)

- Simulation des Lastfalls basierend auf den Ergebnissen des Setzprozesses



- Kraft-Weg Verlauf

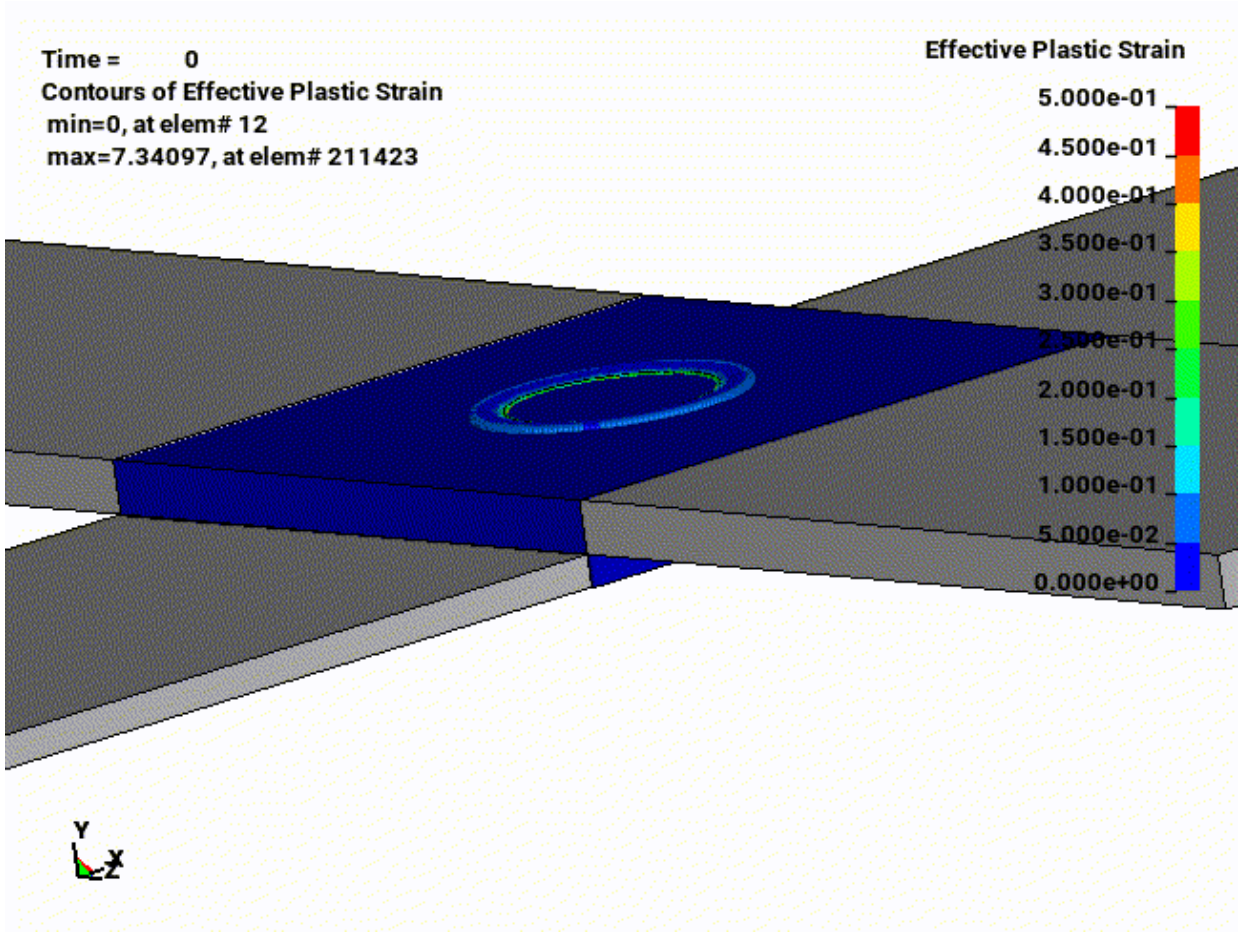


© 2023 DYNAmore GmbH

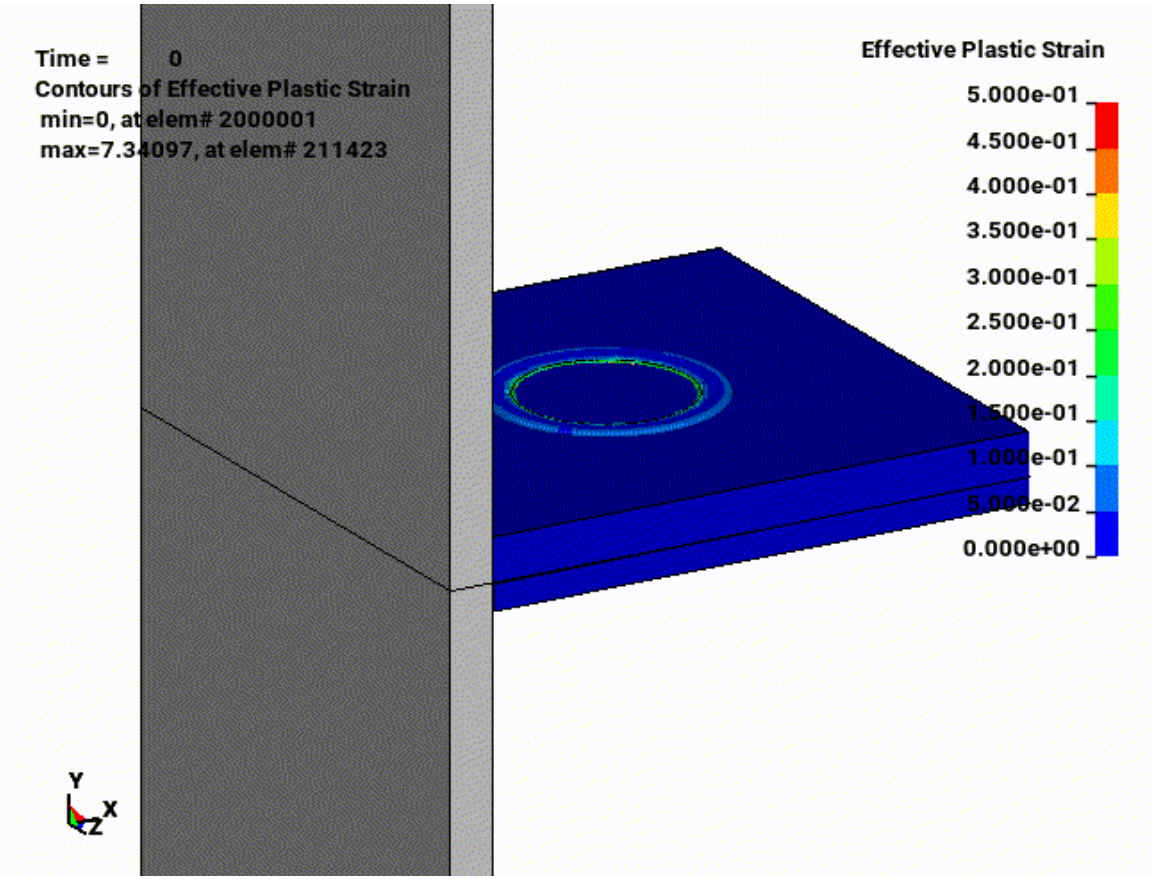
Halbhohlstanznieten (SPR)

Analyse der Festigkeit der Verbindung

- Querzugversuch (Cross Tension Test)



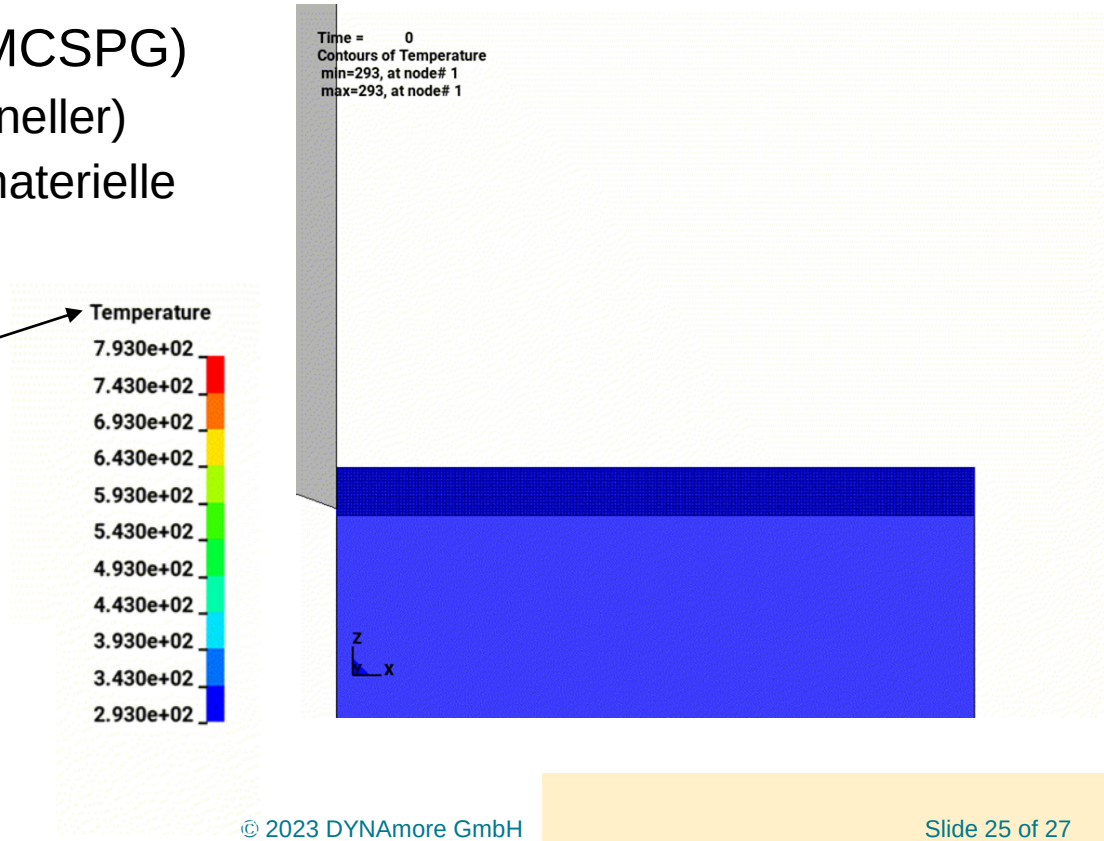
- Schälzugversuch (Coach Peel Test)



© 2023 DYNAmore GmbH

Ausblick

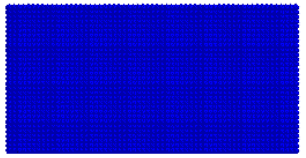
- Die SPG Methode wird in LS-DYNA laufend weiter entwickelt
  - Neue Versagenskriterien für spröde Materialien (Glas, Eis) und hyperelastische Materialien (Gummi)
  - Momentum Consistent Smoothed Particle Galerkin (MCSPG)
    - Nur einen Integrationspunkt pro Partikel → (2 – 3x schneller)
    - Keine Berechnung von Stabilisationsspannungen für materielle Nichtlinearität
    - Besser für Zug dominierte Probleme
    - Thermisch-mechanische gekoppelte Möglichkeiten
    - Empfohlen wird eine R14 beta Version



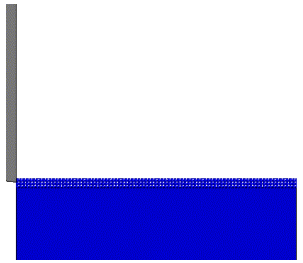
© 2023 DYNAmore GmbH

Résumé

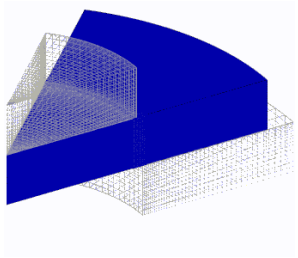
- Die klassische Finite Elemente Methode kommt bei Trenn- und Fügeprozessen mit extremen Deformationen und Materialversagen unter Umständen an ihr Limit.
- Netzfreie Methoden wie z.B. SPG bieten neue, vielversprechende Möglichkeiten.
- Konkret die SPG Methode kann sehr gut mit FEM gekoppelt und gezielt dort eingesetzt werden, wo die FEM ihr Limit erreicht.



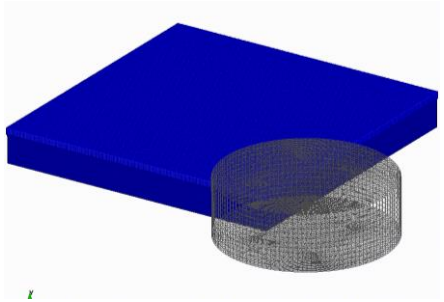
Wasserstrahlschneiden



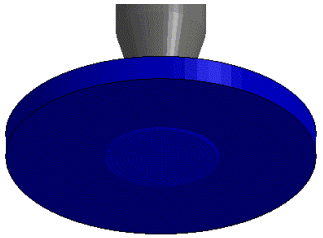
Schneiden



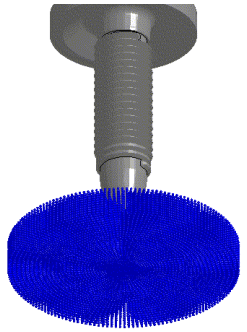
Stanzen



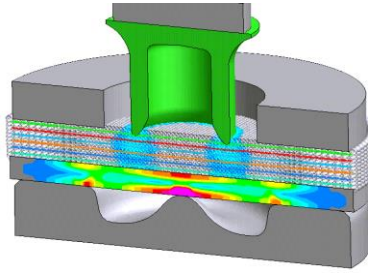
Fräsen



Fliessbohren



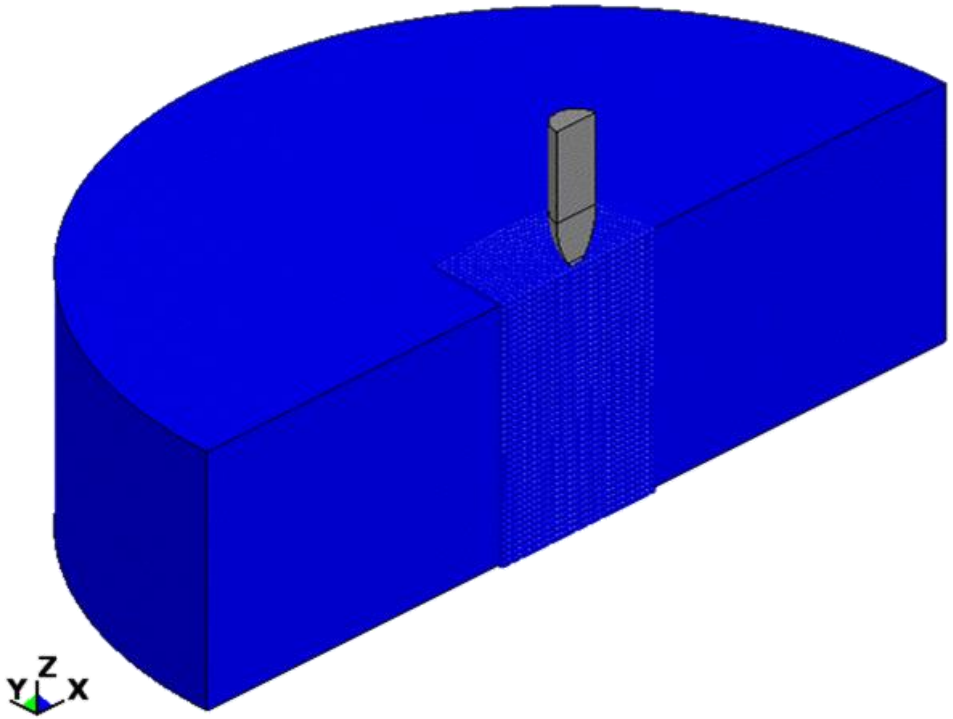
Schrauben



Halbhohlstanznieten

© 2023 DYNAmore GmbH

Thank You



DYNAmore Swiss GmbH,
an Ansys Company
Technoparkstrasse 1
8005 Zurich
Switzerland

Tel.: +41 - (0)43 - 883 43 30

info@dynamore.ch

www.dynamore.ch
www.dynaexamples.com
www.dynasupport.com
www.dynalook.com

© 2023 DYNAmore GmbH, an Ansys Company. All rights reserved.
Reproduction, distribution, publication or display of the slides and content without prior written permission of the DYNAmore GmbH is strictly prohibited.

Find us on