

Numerische Simulation des Kaltrollens von Gewindeverbindungen

Der Bohrstrang einer Tiefbohrung nach Erdöl und Erdgas besteht aus einer Vielzahl einzelner Komponenten, die mittels spezieller Gewindeverbindungen miteinander verschraubt werden. Wegen der hohen Belastungen unter Tage, insbesondere durch Umlaufbiegung, werden die Gewinde häufig mittels Kaltrollen bearbeitet, um Festigkeit und Lebensdauer zu erhöhen.

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines effizienten FEM-Rechenmodells zur numerischen Simulation des Vorganges des Gewinde-Kaltrollens, der Vergleich mit bereits vorhandenen Versuchsdaten sowie die Untersuchung der Einflüsse verschiedener Parameter auf Eigenspannungen und plastische Verformungen.

Beim Kaltrollen wird eine Profilrolle unter hoher Druckkraft über die Oberfläche, hier den Gewindegrund, gerollt (Bild 1). Infolge des Überschreitens der Streckgrenze im Kontaktbereich fließt und plastiziert der Werkstoff, wobei sich in der Randschicht Druckeigenspannungen in Axial- und Umfangsrichtung ausbilden, die das Ermüdungsverhalten positiv beeinflussen.

Modellierung

Eine realitätsgetreue Simulation dieses Vorganges erfordert die Verwendung einer 3D-Analyse. Das geometrische Modell wird mit SolidWorks erstellt, das Gewinde vereinfachend rotationssymmetrisch modelliert. Die FE-Simulation erfolgt mit ANSYS 10.0.

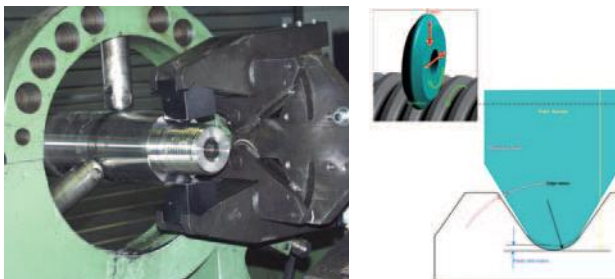
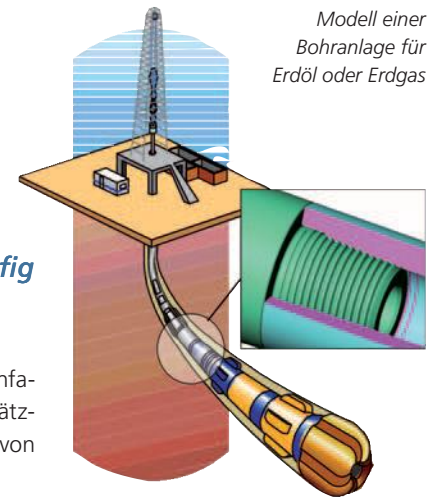


Bild 1: Gewinde-Kaltrollen, CAD-Modell von Zapfen und Rolle, Prozess-Parameter

Die Modellierung des elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens hat für die Berechnung der Verformungen und Eigenspannungen große Bedeutung. Die Simulation in ANSYS erfolgt unter Verwendung des Materialmodells MKIN (Multilineare kinematische Verfestigung).

Mit vereinfachten 3D-Modellen sowie auch 2D-Modellen wurden erste Berechnungen durchgeführt, etwa um den grundsätzlichen Bewegungsablauf der Rollsimulation zu testen, sowie den Einfluss verschiedener Parameter zu ermitteln.

Im Folgenden wird das abschließend verwendete 3D-Modell näher beschrieben. Walzrolle und Gewindezapfen werden hier mit Elementen des Typs SOLID 185 vernetzt, der Kontakt zwischen Walzrolle und Gewinde wird mit Fläche-zu-Fläche-Kontaktelementen des Typs CONTA 174 und TARGE 170 idealisiert.



Modell einer Bohranlage für Erdöl oder Erdgas

Das Abrollen wird vereinfachend als Gleiten unter zusätzlicher Berücksichtigung von Reibung modelliert.

Da die sich ausbildenden Eigenspannungen – abgesehen von Anfangs- und Endbereich des Rollvorganges – ebenfalls rotationssymmetrisch sind, kann sich die FE-Modellierung auf ein (genügend breites) Segment des Zapfens beschränken. Die Symmetrie-Randbedingung an den axialen Schnittflächen wird mittels Kontaktelementen und starrer Targetflächen modelliert.

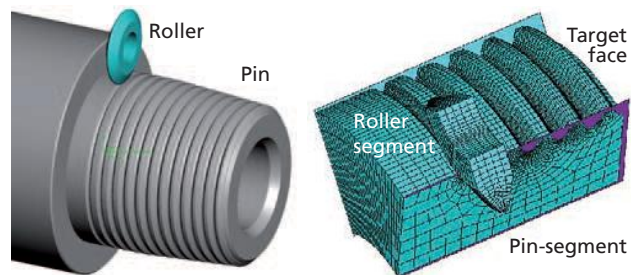


Bild 2: Ausgangs-CAD-Modell, vereinfachtes 3D-FE-Modell (Kontaktelemente zwischen Rolle und Gewinde nicht dargestellt)

Auch die axiale Ausdehnung (Anzahl der zu berücksichtigenden Gänge, Zapfen-Schulter) sowie die Modellierung der Rolle kann sich auf einen Ausschnitt beschränken. Bild 2 zeigt Ausgangsgeometrie und FE-Modell.

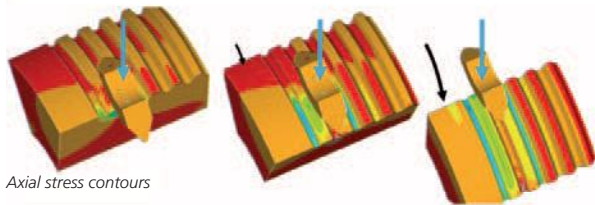
Ablauf der Simulation, Ergebnisse, Vergleich mit Messungen

Wie im realen Kaltroll-Prozess so rotiert auch in der Simulation der Gewindezapfen um seine Achse, während die Rolle im Wesentlichen nur zu Beginn des Rollvorganges radial zuge stellt wird. Aufgrund der vereinfachten rotationssymmetrischen Modellierung muss die Rolle jedoch in der Simulation zusätzlich von einem Gewindegang in den nächsten gehoben und somit in Längsrichtung verschoben werden.

Da die 3D-Solid Elemente keinen Rotationsfreiheitsgrad besitzen, wird die Drehung mittels eines, die Targetflächen (Schnittflächen) steuernden Pilotknotens realisiert. Aus Konvergenzgründen erfolgt die Zustellung der Rolle weggesteuert und nicht direkt mittels Kraft. In Bild 3 ist der Ablauf der FE-Simulation beispielhaft dargestellt.

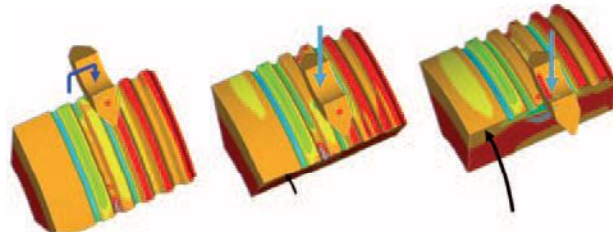
In den Berechnungen zeigte sich, dass das Rollen eines Gewindeganges einen erheblichen Einfluss auf das Spannungsniveau der benachbarten Gänge hat, so dass zur realitätsnahen Ermittlung der Eigenspannungen mindestens 3 Gänge gerollt werden müssen.

I – Coldworking of „left-neighbor“ thread

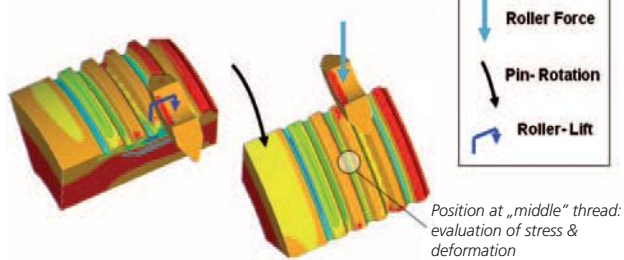


Axial stress contours

II – Coldworking of „middle“ thread



III – Coldworking of „right-neighbor“ thread



Position at „middle“ thread: evaluation of stress & deformation

Bild 3: Ablauf der Simulation (Rollen der Gewindegänge 2-4), Axialspannungen

Das Bild 4 zeigt die Verteilung der axialen Eigenspannungen in der Tiefe für verschiedene Walzkraft bzw. -drücke. In Übereinstimmung mit gemessenen Eigenspannungsverläufen und auch Angaben aus der Literatur stellen sich in einer Tiefe von wenigen mm Druckeigenspannungen ein. Der Ort des Spannungsminimums sowie die Ausdehnung in der Tiefe ist dabei von der Walzkraft abhängig, die Höhe der Spannungen jedoch weniger.

Der Vergleich von berechneten und gemessenen Verformungen ergab eine gute Übereinstimmung. Relativ große Abweichungen wurden jedoch bei den Eigenspannungen festgestellt (Bild 5).

Ursache hierfür ist nach ersten weiterführenden Berechnungen zu einem großen Teil die für die röntgenografische Messung notwendige Präparierung der Probe (Entfernung von Material in der Umgebung und Tiefe), wodurch eine erhebliche Veränderung des Spannungsgleichgewichts hervorgerufen wird.

Für die in der Erdölserviceindustrie bereits seit Jahrzehnten

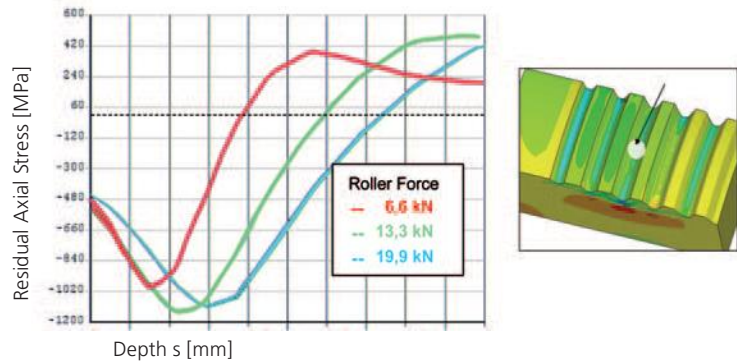


Bild 4: Axiale Eigenspannungen in Abhängigkeit von der Walzkraft

übliche Methode des Gewinderollens gibt es nur wenige und uneinheitliche Prozessparameter sowie insbesondere bei neuartigen Gewindeprofilen erhöhten Wissensbedarf. Experimentelle Untersuchungen zur Optimierung der Werkzeuge und des Prozesses sind sehr aufwendig.

Ein wesentliches Ergebnis dieser Diplomarbeit ist, dass die Simulation des Rollvorganges eine realitätsnahe Ermittlung der plastischen Verformungen und Eigenspannungsverteilung ermöglicht und mit dem entwickelten, vereinfachten und teil-automatisierten FE-Modell auf effiziente und hinreichend genaue Weise durchführbar ist. Damit ist die Simulation ein hervorragendes Mittel für Parameterstudien, bspw. die Rollengeometrie oder Walzkraft betreffend. Direkte theoretische Aussagen zu der durch das Rollen hervorgerufenen Lebensdauererhöhung der im Einsatz hoch vorgespannten Gewindeverbindungen erscheinen derzeit jedoch kaum möglich.

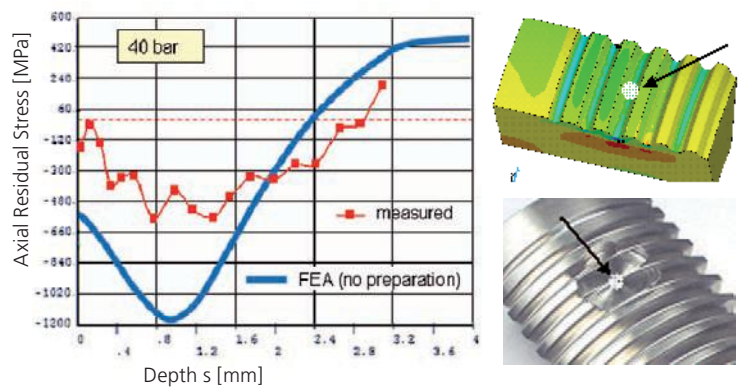


Bild 5: Axiale Eigenspannungen, Vergleich Berechnung/Messung

Autor

Detlev Benedict, BakerHughes INTEQ GmbH, Celle

www.inteq.com

Der Artikel ist eine Zusammenfassung einer Diplomarbeit, die an der FH Hannover und bei BakerHughes INTEQ angefertigt wurde.