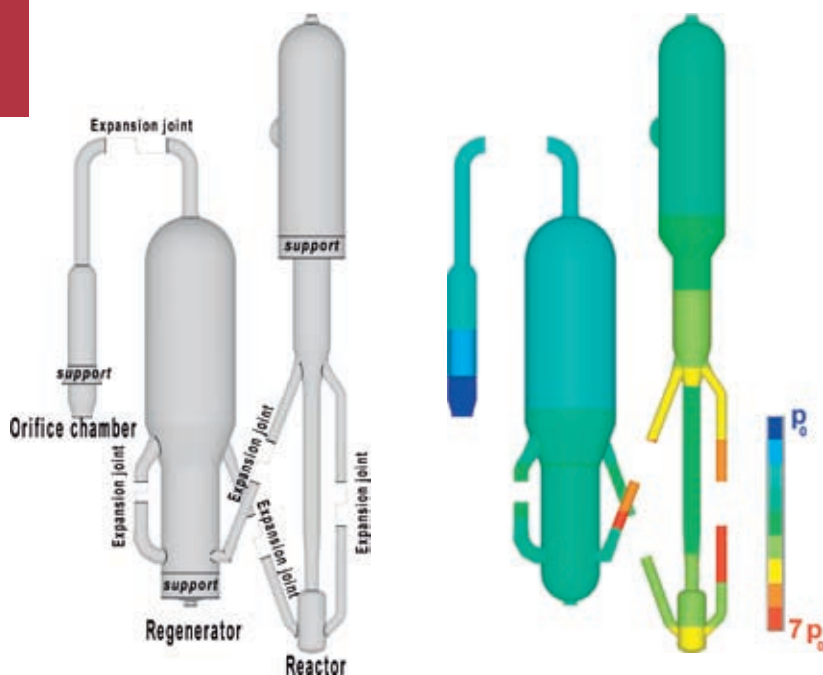


# Entwicklung von sicheren Crackern

Alexander Michailov, Igor Voinov und Alexey Borovkov  
Computational Mechanics Laboratory (CompMechLab)  
Staatliche Polytechnische Universität Sankt Petersburg, Russland



In der petrochemischen Industrie ist das katalytische Cracken ein ganz wesentlicher Schritt beim Zerlegen langer Kohlenstoffketten in kürzere Elemente für PKW- und Flugkraftstoffe. Die typischen Cracking-Anlagen bestehen aus einem Reaktor und einem Regenerator, die durch ein Katalysator-Rohrsystem verbunden sind. Während des Crackens wirken auf das System sowohl mechanische Lasten – durch Wind, Innendruck und Eigengewicht des Katalysatormaterials – als auch thermische Beanspruchungen durch die zyklischen Temperaturschwankungen an den Wänden.

Auf Anfrage von JSC Neftehimproekt, einem Ausrüster für die chemische Industrie, hat das Computational Mechanics Laboratory (CompMechLab) der polytechnischen Universität in St. Petersburg eine 3D-Strukturanalyse für einen katalytischen Cracker durchgeführt. Einbezogen wurden dabei die Auswirkungen von äußeren Windlasten ebenso wie die gesamten mechanischen und thermischen Beanspruchungen. Bei der Analyse dieser Effekte im Hinblick auf das Systemverhalten haben die Ingenieure von CompMechLab die Simulationssoftware von Ansys eingesetzt.

Ein primäres Ziel der Simulation war die optimale Wahl der Wandstärken für Reaktor, Regenerator und Rohrleitungen bei allen Betriebszuständen. Auf dieser Basis sollten die Lastenhefte für die Komponentenzulieferer erstellt werden. Innerhalb von Ansys-Mechanical verwendete CompMechLab mehrlagige Shell-Elemente, unter anderem Shell131 für die thermische Analyse und Shell181 für die Strukturanalyse. Reaktor- und Regeneratorwände bestehen aus zwei Schichten: einer äußeren Hülle aus Stahl mit einer Innenschicht aus Beton. Durch den Einsatz der speziellen Shell-Elemente für die Simulation konnte die Zahl der Unbekannten wesentlich reduziert werden, was die Rechenlast deutlich reduzierte.

Das Gewicht der Katalysatorrohre liegt etwa halb so hoch wie das Gewicht von Reaktor- und Regeneratorbehälter. Deshalb war es sehr wichtig, diese Komponenten, einschließlich der Verbindungsstege, Balgkompensatoren und Tragfedern, in die Betrachtung mit einzubeziehen. Balgkompensatoren werden bei der Konstruktion dafür benutzt, die Längenänderung der Katalysatorrohre aufgrund von Temperaturschwankungen auszugleichen

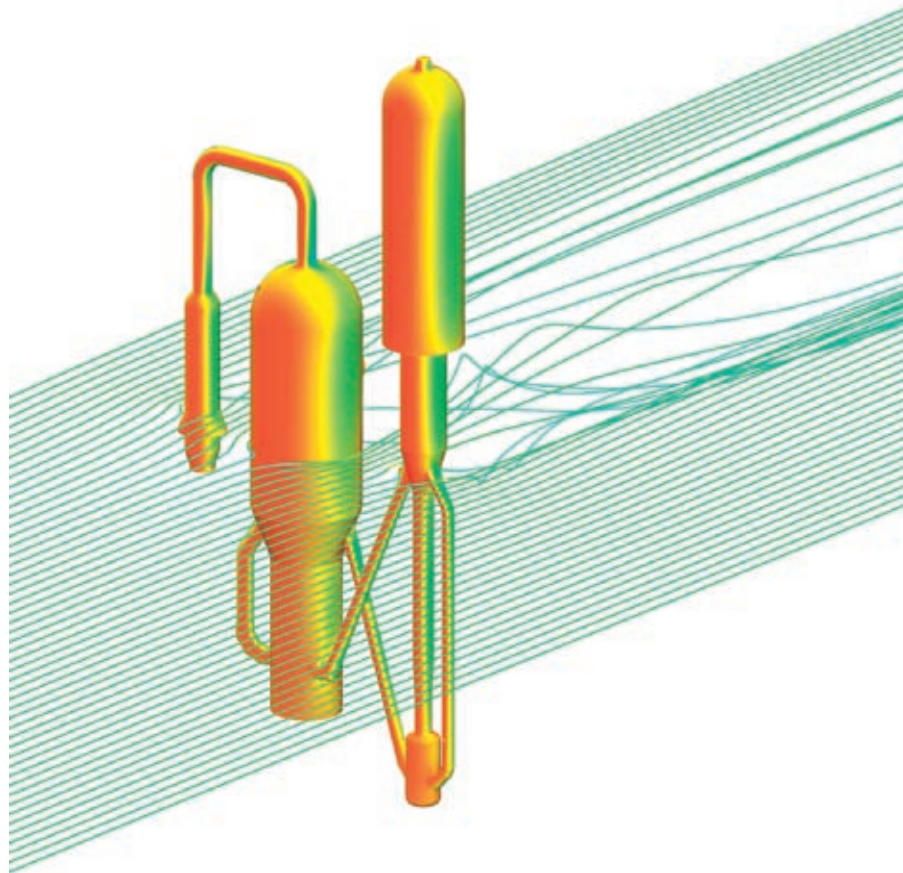
und so die Belastung der Verbindungsstege zu mindern. Die Kompensatoren gleichen axiale, laterale und rotierende Bewegungen zwischen Anlageteilen elastisch aus. Für das Gesamtmodell simulierte das Team von CompMechLab diese Komponenten mit Hilfe von Mass21-Massenpunktelemente an den entsprechenden Positionen zwischen Reaktor und Regenerator.

Der Simulationsprozess von CompMechLab konzentrierte sich auf die Steifigkeitsanalyse der Balgkompensatoren und ebenso auf die Kräfte, die auf die Tragfedern wirken, die dazu dienen, die Trägheitsbeanspruchung auf die Stege zu mindern. Das Federverhalten kann mit insgesamt sieben Parametern beschrieben werden. Jeder der fünf Balgkompensatoren besitzt zudem drei veränderliche Steifigkeitsparameter, so dass insgesamt 22 unabhängige Parameter vorliegen. Für jede Parameterkombination untersuchten die Ingenieure von CompMechLab zwei unterschiedliche Betriebszustände: den Normalbetrieb (Temperaturbereich von 521°C bis 740°C, Maximaldruck 0,3 MPa) und den Betrieb im Grenzbereich (Temperaturbereich von 555°C bis 790°C, Maximaldruck 0,8 MPa).

Anhand der Variation dieser 22 Parameter führten die Forscher eine Reihe von Berechnungen mit dem Ziel durch, die Beanspruchung der Stege zu reduzieren. Dabei wurde mittels CFD-Analyse (Computational Fluid Dynamics) die Windlast auf das System bestimmt. Hier berechnete das Team mit dem Programm Ansys CFX unter Einsatz des integrierten, sehr robusten und allgemeingültigen (SST)  $k-\omega$ -Turbulenzmodells die Luftströmung rund um den Cracker.

Die vom Wind verursachten Druckkräfte wurden aus Ansys CFX an die Elemente des Strukturmodells in Ansys Mechanical übergeben und lieferten einen weiteren Beitrag zur Gesamtlast aus Innendruck, Trägheit, thermischer Belastung und Katalysatorgewicht.

Das Gesamtmodell, das die Lastverteilungen auf das System und die entsprechenden Verschiebevektoren umfasst, nimmt lineares Verhalten für Beton und Stahl an. Mit Bemessungswerkzeugen aus der russischen Öl- und Gasindustrie bestimmte CompMechLab die maximal zulässigen Beanspruchungen für die einzelnen Teile der Crack-Anlage bei vorliegenden Wandstärken. Sicherheitsfaktoren für verschiedene Betriebszustände, wie etwa Hochfahren der Anlage, normaler Betrieb und Abschalten wurden dabei berücksichtigt. Durch Vergleich der per Simulation mit Ansys ermittelten Belastungen und der gemäß Industriestandards zulässigen Werte war das Team in der Lage, sicher zu entscheiden, ob eine bestimmte Wand-



stärke noch akzeptabel beziehungsweise ob die Belastung kritisch war. In letzterem Fall wurde eine weitere Prüfung mit einer größeren Wandstärke vorgenommen.

Nach der Analyse am Gesamtmodell erstellte CompMechLab ein detaillierteres Untermodell für thermostrukturelle und zyklische Lastanalyse des Reaktoroberteils unter Berücksichtigung des geschweißten Verbindungsstücks zwischen Reaktorgehäuse und Verteilerkanal. Das Team führte diesen Schritt aus, um kritische Zonen im Verstärkungsring zu dimensionieren. Basierend auf dieser Detailanalyse bestimmten die Ingenieure den Bereich höchster Beanspruchung und führten dort eine zyklische Festigkeitsuntersuchung durch.

Nach der Analyse mit der Ansys-Software konnte das Team alle Strukturparameter geeignet bemessen. Kurz gesagt setzten die Ingenieure bei CompMechLab die hier vorgestellte Simulationsmethode für die Untersuchung zweier Crack-Anlagen ein und waren innerhalb von nur sechs Wochen in der Lage, einem hochzufriedenen Kunden den Projektbericht mit tragfähigen Konstruktionsvorschlägen zu überreichen.

**Kompensatoren gleichen axiale, laterale und rotierende Bewegungen aus.**

-fr-

Ansys Germany GmbH  
www.ansys-germany.com