



ANSYS Bausteine
für die Simulation
des Bremsenquietschens

Bremsen ohne Quietschen

In einer deutschen Tageszeitung war unlängst folgende Rechtsprechung zu lesen:

„Bei einem Auto der Oberklasse sind quietschende Bremsen ein erheblicher Komfortmangel.

Der Käufer darf daher fristlos vom Kauf zurücktreten, wenn das Quietschen durch Reparatur nicht zu beseitigen ist. Das hat das Oberlandesgericht Schleswig nach der Klage einer Firma entschieden...“.

Auch ohne diese rechtliche Eskalation ist den meisten Automobilfirmen sehr wohl bewusst, wie stark das akustische Empfinden des Fahrers den Fahrkomfort und damit letztlich die Kundenzufriedenheit beeinflusst. Bereits in einer frühen Designphase wird daher mittels Schwingungssimulation ein Hauptaugenmerk auf die Vermeidung von Bremsenquietschen gelegt.

Beim Bremsenquietschen handelt es sich um einen reibungsinduzierten Schwingungsvorgang, den man sich am besten anhand zweier Momentaufnahmen einer typischen Schwingungsform vorstellt. In Bild 1 erkennt man oben eine nach rechts rotierende Brems Scheibe (gelber Pfeil), an die ein leicht schräg angestellter Biegebalken mit reibungsbehaftetem Kontakt („Bremsbelag“) gedrückt wird. Würde sich die Brems Scheibe nicht drehen, käme jede Schwingung in dieser Konfiguration durch die Dissipation an der Kontaktstelle schnell zur Ruhe. Unter bestimmten Voraussetzungen ergeben sich jedoch bei einer drehenden Brems Scheibe Instabilitäten, die sich aufschaukelnde Schwingungsamplituden zur Folge haben. Wie in Bild 1 (Mitte) dargestellt, berührt dabei der Stab die Brems Scheibe genau in dem Moment, in dem die Brems Scheibe nach oben und der Stab nach rechts schwingt. Der Stab wird folglich von der drehenden Brems Scheibe über den Reibkontakt „mitgenommen“ und be-

kommt damit zusätzliche Energie aus der Brems Scheibe. Kurz darauf, am rechten Maximalausschlag des Stabes, schwingt die Brems Scheibe nach unten, der Stab kann ungehindert nach links zurückfedern (siehe Bild 1 unten) und der Zyklus beginnt von neuem. Wie man erkennt handelt es sich beim Bremsenquietschen um eine Instabilität, die durch das phasenrichtige (oder besser „phasenfalsche“?) Aufeinandertreffen zweier zueinander senkrecht stehender Biegeschwingungsformen verursacht wird.

Simulationsprozess

Aufgrund der kurzen Entwicklungszyklen im Automotive-Umfeld und der vielfachen Designanforderungen, die zu bewerten sind, stehen in der Ingenieurpraxis neben dem geeigneten numerischen Lösungskonzept vor allem auch Aspekte wie übersichtliche Programmbedienung oder Effizienz des Simulationsverfahrens im Vordergrund. Der gesamte Lösungsprozess soll nach einmaligem Aufsetzen

z.B. für modifizierte Designs, andere Reibpaarungen etc. schnell reproduzierbar sein. ANSYS Mechanical unterstützt dieses Konzept in hervorragender Weise. So sind die einzelnen Lösungsschritte bereits in der Projektseite (Bild 2) übersichtlich dargestellt. Neben den Materialparametern sind nach bewährtem ANSYS Workbench-Konzept die CAD-Geometrie (1) sowie ein äußerst robuster Mesher der Ausgangspunkt für die Lösung. Die Berücksichtigung von nichtlinearem Kontakt mit Reibung ohne auf aufwändig generierte Hexaeder-Netze angewiesen zu sein, ist ein wesentliches Merkmal der ANSYS Technologie. Während man bei der klassischen Vorgehensweise den Reibkontakt zwischen Bremsbelag und Brems Scheibe mittels „teurer“, koinzidenter Hexaeder-Vernetzung und Knoten-zu-Knoten-Beziehungen als Matricelement programmiert, basiert der ANSYS Prozess auf einer vorgeschalteten nichtlinearen, statischen Kontaktanalyse (2), die die nichtlinearen Kontaktverhältnisse ausiteriert,

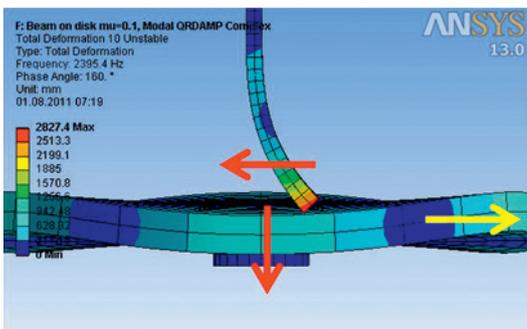
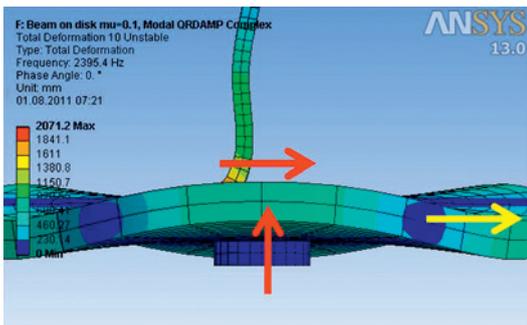
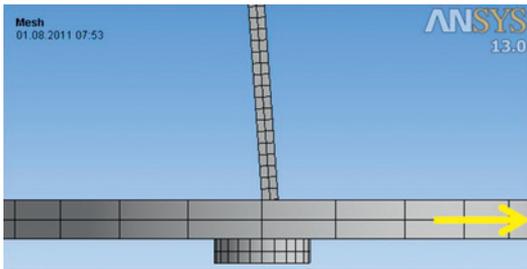
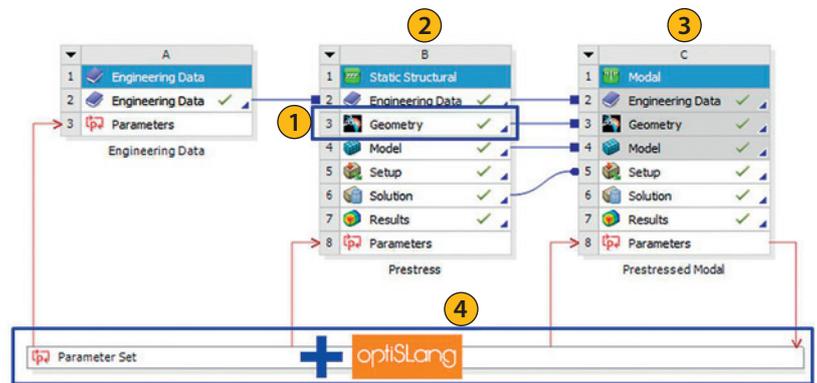


Bild 1: Beispiel Beam-on-Disk zur Erläuterung der Wirkungsweise für das Bremsenquietschen.

bevor die vorgespannte, komplexe Modalanalyse (3) angestoßen wird. ANSYS sieht für diese Abfolge drei verschiedene aufwändige Analysesequenzen (Full Nonlinear, Partial Nonlinear, Linear) vor, so dass der Anwender zwischen hoher Genauigkeit und sehr kurzen Lösungszeiten z. B. je nach Entwicklungsphase selbst entscheiden kann. Unabhängig von den drei genannten Analysesequenzen existieren drei verschiedene Complex-Solver für die komplexe Modalanalyse (QRDAMP, UNSYM, DAMP). Abgerundet wird das notwendige Analysewerkzeug durch hochwertige Reibmodelle. So kann etwa die Reibung als Funktion von Anpressdruck oder Relativgeschwindigkeit in die Simulation eingehen. Auch weitere interessierende Effekte für das Bremsenquietschen wie etwa das „stabilizing squeal damping (FDMS)“ als Option des nichtlinearen Kontakts in ANSYS 14, der Einfluss gyroskopischer Effekte (CORIOLIS, ON) oder bei Varianten das gezielte Moden-Tracking mittels MAC-Kriterium

Auch das „Stabilizing Squeal Damping“ als Option des nichtlinearen Kontakts in ANSYS 14, der Einfluss gyroskopischer Effekte oder bei Varianten das gezielte Moden-Tracking mittels MAC-Kriterium können direkt im ANSYS Workflow berücksichtigt werden.



- ① Parametrisierter Geometrie-Import von CATIA V5 über bidirektionale Schnittstelle (CADNexus)
- ② Nichtlineare Vorspannung (große Verformung + nicht lineare Kontakt)
- ③ Komplexe Modalanalyse
- ④ Parameterstudie mit optiSLang

Bild 2: Prozess für eine Bremsenquietsch-Simulation in ANSYS Mechanical 13.

(RSTMAC) können direkt im ANSYS Workflow berücksichtigt werden.

Ein wesentlicher, wenn nicht sogar der wesentlichste Baustein für die Lösung dieser Schwingungsaufgaben in der Praxis ist die durchgängige Parametrisierbarkeit der Lösung. Vom Reibkoeffizienten bis hin zur CAD-Geometrie finden alle Parameter Eingang in die Lösung. Damit ist der Zugang offen für schnelle Parameterstudien, wo der Berechnungsingenieur kurzerhand im Tabellenblatt mehrere Sätze an neuen Parametern vorgibt und per „Update-Knopf“ den kompletten Analyseprozess neu anstößt. Besonders hervorzuheben sind gerade beim Bremsenquietschen auch effiziente Sensitivitätsanalysen mittels der integrierten Softwarelösung optiSLang (4), die eine schnelle Beurteilung der für ein Quietschproblem maßgeblichen Einflussgrößen (z. B. Reibkoeffizient, Bremskolbendruck, Abmessungen der Stege einer geteilten Bremsscheibe) sicherstellt. Last not least sei hier die Optimierung genannt, die den Ingenieur ziel-

gerichtet dabei unterstützt, aus der Vielzahl der möglichen Änderungen unter den gegebenen Grenzen die geeignetste herauszufiltern. Mit Bild 2 ist damit der Kreis von der Konstruktion (CAD-Geometrie), über effiziente Berechnungsverfahren (Complex Modes) bis hin zur Parametrisierung und Optimierung (optiSLang) geschlossen.

Sie sehen: Dass Autobremesen im Alltag nicht mehr unbedingt quietschen, kann auch als Indiz für die gute und aufwändige Ingenieurarbeit dahinter verstanden werden.

InfoAutor | Ansprechpartner

Dr.-Ing. Marold Moosrainer
Tel. +49 (0)8092-7005-45
mmoosrainer@cadfem.de

InfoVerwendete Software

ANSYS Mechanical, optiSLang

InfoOnline-Seminare

Simulation des Phänomens Bremsenquietschen
7. Oktober 2011
www.cadfem.de/seminare