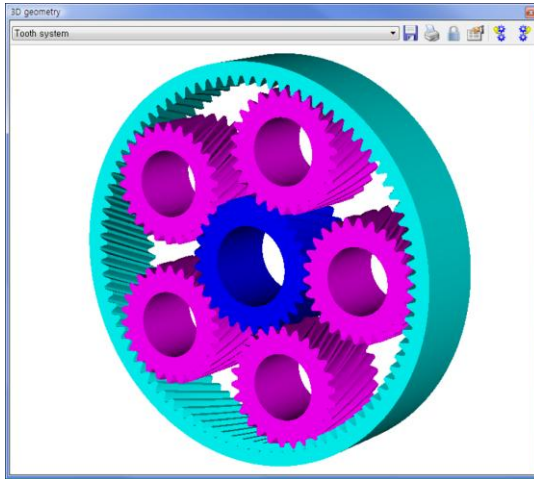


KISSsoft AG - +41 55 254 20 50
Uetzikon 4 - +41 55 254 20 51
8634 Hombrechtikon - info@KISSsoft.AG
Switzerland - www.KISSsoft.AG

KISSsoft berechnet Micropitting im Windbereich

Dr. Stefan Beermann, KISSsoft AG



Planetengetriebe mit dem 3D-Parasolid-Kern dargestellt.

Moderne Windkraftanlagen müssen eine lange Lebensdauer erreichen und gleichzeitig aber nur geringe Wartungskosten verursachen. Die dazu notwendigen Berechnungen sind jedoch auf Ressourcen angewiesen – und zwar Zeit, Wissen sowie Werkzeuge.

Vor allem aufgrund Kostendrucks setzen immer mehr Hersteller auf eine vorausblickende Produktentwicklung. Den Konstrukteuren ist es darum auch ein wichtiges Anliegen, die Auslegung der einzelnen Maschinenelemente und die Wechselwirkung mit ihrer Umgebung möglichst frühzeitig in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Moderne und zuverlässige Berechnungstools leisten hier in Verbindung mit fachlichem Know-how einen wesentlichen Beitrag.

Mit dem neuen KISSsoft-Release 04/2010 steht eine Software für die Auslegung von Maschinenelementen bereit, welche mit Verbesserungen auch in den für die Windkraft so wichtigen Bereichen aufwarten kann – wie der Zahnkontaktanalyse, der Wälzlagerlebensdauer-Berechnung unter Berücksichtigung der inneren Geometrie sowie schliesslich auch der Sicherheit gegen Micropitting.

Micropitting im Windbereich

In den Neunzigerjahren des zwanzigsten Jahrhunderts, als die ersten grösseren Windfarmen in den USA errichtet wurden, erwiesen sich auftretende Mängel oft als klassische Verzahnungs- (Grübchen, Zahnfußbruch, Fressen) oder Lagerschäden. Graufleckigkeit, im Englischen „Micropitting“ genannt, stellte aufgrund der hohen Rotordrehzahl zu dieser Zeit noch keine Gefahr dar.

Zu Beginn des einundzwanzigsten Jahrhunderts war die Anlagenleistung drastisch angestiegen und die Rotordrehzahl gesunken. Klassische Verzahnungsschäden waren durch die ge-

sammelten Erfahrungen und die oben erwähnten Regelwerke mehr oder minder ausgemerzt, die Lagerschäden jedoch nicht. In den folgenden Jahren stieg die Anlagenleistung sogar noch weiter an, während die Rotorzahl kontinuierlich kleiner wurde.

Lager stellen auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt in der Windbranche immer noch einen der Hauptgründe für Betriebsausfälle dar, während im Verzahnungsbereich in der Zwischenzeit das Schadensbild des Micropitting aufgetreten und vermehrt ins Zentrum der Aufmerksamkeit von Getriebe- und Anlagenbauern beziehungsweise der Betreiber gerückt ist: Mit fortlaufend ansteigender Anlagenleistung sowie sinkender Rotordrehzahl erlangt das Phänomen des Micropitting im Windbereich zunehmend an Wichtigkeit. Graufleckigkeit sollte daher grundsätzlich als ein Auslegekriterium für die Verzahnung, deren Korrekturen und für das Schmiermittel herangezogen werden.

Das Phänomen der Graufleckigkeit

Wenn der Schmierspalt so schmal wird, dass die Flanken in Kontakt kommen – sprich dass die Oberflächenrauigkeit grösser wird als die Schmierspaltstärke und somit Mischreibung herrscht, dann führt dies zu einer Schädigung der Oberfläche. In der Folge zeigen sich graue Flecken, welche der Zahnflanke ein mattes Aussehen verleihen und deshalb auch zur Bezeichnung „Graufleckigkeit“ geführt haben.

Massgeblich für die Beurteilung ob eine Verzahnung hinsichtlich Micropitting gefährdet ist, ist die spezifische Schmierspaltstärke λ_{GF} – das Verhältnis zwischen Schmierspaltstärke und Oberflächenrauigkeit. Graufleckigkeit ist gekennzeichnet durch eine Oberflächenschädigung in Form von Rissen, die von der Oberfläche ins Innere wachsen. Es handelt sich dabei um kleine Grübchen (daher der Begriff „Micropitting“, der im deutschen Sprachraum ebenfalls gerne verwendet wird) von rund 10-20 μm Tiefe, 25-100 μm Länge und 10-20 μm Breite. Graufleckigkeit tritt vor allem bei einsatzgehärteten Rädern auf, kann aber auch bei nitrierten, induktionsgehärteten oder nicht randschichtgehärteten Rädern auftreten.

Der Materialabtrag auf der Flanke führt unweigerlich zu einem vergrösserten Profilfehler von der Verzahnung und damit zu einer Reduktion der Verzahnungsqualität im Allgemeinen. Nach einer gewissen Zeit tritt entweder Stagnation dieses Materialabtrags ein oder aber dieser Prozess dauert kontinuierlich an. Als Folgeschaden können – müssen jedoch nicht zwingend – erhöhte dynamische Lasten auftreten, die wiederum zu einem erhöhten Geräuschpegel und einer erhöhten Belastung der Verzahnung bis zu einer Grübchenbildung führen können. Das abgetragene Material selbst kann als Fremdkörper in Lagern Schäden verursachen, wenn es nicht durch eine effektive Filterung des Schmiermittels frühzeitig entfernt wird. Eine solche Filterung gehört im Bereich der Windkraft bereits zum Standard.

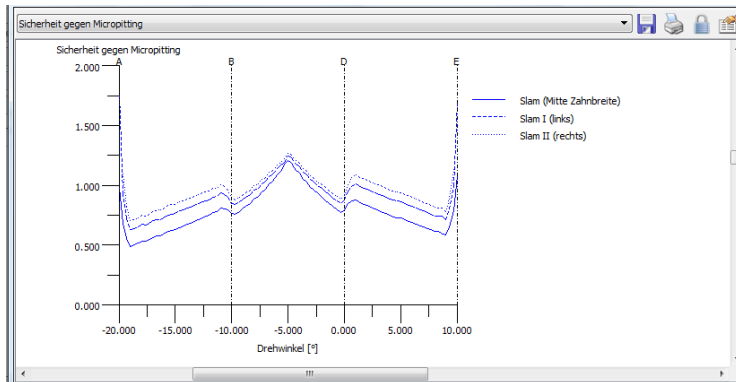
In der Folge soll nun der zur Berechnung der spezifischen Schmierspaltstärke λ_{GF} dienende Technical Report ISO/CD TR 15144 vorgestellt, der ursprünglich als Teil 7 der Norm 6336 geplant war.

Der Technical Report ISO/CD TR 15144

Im Entwurf der geplanten ISO/CD TR 6336-7 fehlten bei der Berechnung des Schmierspaltstärkes und der Risikoanalyse im Hinblick auf Graufleckigkeit („Micropitting“) die Angaben zur Bestimmung der zulässigen spezifischen Schmierfilmdicke λ_{GFP} .

In der Zwischenzeit wurde entschieden, dass diese Berechnung nicht Teil des 6336-Standards sein, sondern zum Technical Report ISO/CD TR 15144 wird. Gemäss dem aktuellsten Vor-

schlag des Entwurfskomitees beinhaltet nun die ISO/CD TR 15144 die Bestimmung der zulässigen spezifischen Schmierfilmdicke. Mit der Implementierung dieser Normerweiterung in KISSsoft, lässt sich nun die Sicherheit gegen Micropitting berechnen.



Berechnung der Sicherheit gegen Micropitting nach ISO/CD TR 15144 in KISSsoft.

Die Mindest-Schmierspaldicke im Zahneingriff eines Getriebes dient hier zur Bestimmung der Anfälligkeit auf Graufleckenschäden. Natürlich ist bekannt, dass es viel mehr Parameter gibt als nur die spezifische Schmierfilmdicke, welche einen Einfluss auf das Micropitting ausüben, wie: Additivierung der Schmierstoffe, Struktur der Oberflächenrauigkeit, Härten der beiden Flanken und andere. Nach dem aktuellen Stand der Technik ist es jedoch noch nicht in einem normierten Rechenverfahren möglich, diese Parameterwerte direkt in den Berechnungsvorgang einzubeziehen.

Obwohl die Berechnung der spezifischen Schmierfilmdicke keine direkte Methode zur Ermittlung des Graufleckigkeitsrisikos liefert, kann sie ein bedeutendes Kriterium darstellen, wenn sie als Teil eines adäquaten Verfahrens auf der Grundlage praktischer Erfahrung angewendet wird.

In dem genannten ISO-Vorschlag ist die Berechnung des Verlaufs der effektiven Schmierspaldicke h sowie der effektiven spezifischen Schmierspaldicke λ_{GF} über dem Zahneingriff genau definiert. Je nach lokaler Gleitgeschwindigkeit, Belastung und Erwärmung verändert sich der Schmierspalt markant. Zur Beurteilung der Gefahr von Micropitting ist wie bereits ausgeführt entscheidend, wie gross die Stelle mit der kleinsten spezifischen Schmierspaldicke λ_{GFmin} mindestens sein muss. Es gilt daher: $\lambda_{GFmin} \geq \lambda_{GFP}$, um Graufleckigkeit zu vermeiden – beziehungsweise ergibt $S_\lambda = \lambda_{GFP} / \lambda_{GFmin}$ den Sicherheitsfaktor gegen Graufleckigkeit.

Im bisherigen Vorschlag ISO/CD TR 6336-7 fehlten die Angaben zur Bestimmung der zulässigen spezifischen Schmierfilmdicke λ_{GFP} . Anhaltswerte zu λ_{GFP} mussten aus der Literatur abgeleitet werden, wobei sich in diesem Zusammenhang oft widersprüchliche Angaben fanden.

Mit der neuesten Ausgabe der ISO/TR 15144 ist es nun möglich geworden, die zulässige spezifische Filmdicke λ_{GFP} zu berechnen, wenn die Kraftstufe des Öls gemäss FZG-Test bekannt ist.

Mit der verwandten und vorausgehenden amerikanischen Richtlinie, der AGMA 925 – welche ebenfalls die Berechnung der Schmierfilmdicke im Zahneingriff und somit auch diejenige der spezifischen Schmierfilmdicke erlaubt – lässt sich zusätzlich das Fress- und das Verschleissrisiko ermitteln.

Bilanz und Ausblick

Mit KISSsoft lassen sich komplexe Zusammenhänge zuverlässig berechnen und fundierte Entscheidungsgrundlagen liefern, lange bevor die Konstruktion einer Windkraftanlage überhaupt in die Tat umgesetzt wird. Ein ausgewogenes und optimal ausgelegtes Design führt dabei nicht nur zur Einsparung von Kosten und Gewicht, sondern auch zu zuverlässigen Vorhersagen über zukünftiges Verhalten, geforderte Stabilität und Lebensdauer des Getriebes. Es ist anzunehmen, dass mittel- bis langfristig Investitionen in Windenergie gestärkt werden, da sie mit geringeren Risiken verbunden sind und weitere wirtschaftliche Vorteile aufweisen. Betrieb und Wartung sind normalerweise gut kalkulierbar und dank einer Berechnungssoftware wie KISSsoft lässt sich die Schadenswahrscheinlichkeit im Vorhinein drastisch reduzieren.

Dem Getriebebauer indes bleiben beim heutigen Stand der Technik und den Randbedingungen in der Windkraft (hohe Drehmomente, hohe Überlasten, tiefe Drehzahl, Öl mit VG320, bei ca. 60C°) nur wenige Möglichkeiten, um das Risiko von Micropitting einzudämmen. Es hat sich gezeigt, dass die Sicherheit gegen Graufleckigkeit mit dem neuen, geplanten Rechenverfahren ISO/CD TR 15144, welches im neuen KISSsoft-Release 04/2010 implementiert wurde, rasch und realitätsnah abgebildet werden kann.