

Numerisches Modell für die Faserbewegung beim Kompaktspinnen

Daniel Gantner
dgantner@ethz.ch

Institut für automatisierte Produktion / ETH Zürich
ETH-Zentrum, CLA F23.2 / Tannenstrasse 3 / CH-8092 Zürich / Schweiz

Kurzfassung

Das Verhalten der Fasern unter dem Einfluss mechanischer Kräfte und der Luftströmung wird mittels Simulation einer Vielzahl von Fasern untersucht. Das Modell ist 3-dimensional und schliesst das Einbinden der Fasern durch die Drehung und somit das Erzeugen des Garns mit ein. Die Migration einzelner Fasern kann über den gesamten Prozess der Garnerzeugung verfolgt werden. Die Wechselwirkung von Fasern wird durch die Reibung zwischen ihren Massen dargestellt. Das Modell macht eine Aussage über die Unterschiede zwischen alternativen Lösungen, die sich in der Art der Luftströmung und somit der Verdichtung der Fasern in der Kompaktierzone unterscheiden.

1 Einleitung

Kompaktspinnen ist zu einem wichtigen Verfahren zum Spinnen von Kurzfasern geworden, weil es vorteilhaft ist, um Garne mit hoher Festigkeit und geringer Haarigkeit zu erzeugen. Zudem ist der Faserflug, und somit der Verlust an Fasern, geringer. Kompaktspinnen wird verwendet für die Erzeugung von feinen Garnen mit weniger als 20 tex. Eine Kombination verschiedener Kräfte wirkt dabei auf die Fasern. Das in diesem Paper vorgestellte Modell ermöglicht es, die Bewegung der Fasern in der Kompaktierzone sowie das Einbinden der Fasern ins Garn bei der Verdrehung zu simulieren.

2 Fasermodell

Das in diesem Paper vorgestellte Fasermodell ist das “Verkettete-Massenpunkt-Modell” (vgl. „the bead-elastic rod model“ [1]). Die Faser wird als eine Kette bestehend aus n Massenpunkten, die mit $n - 1$ Verbindungslinien verbunden sind, modelliert. Die Masse eines Massenpunktes ist m . Die Verbindungslinien besitzen keine Masse, weisen eine gerade Ausrichtung auf und sind axial elastisch.

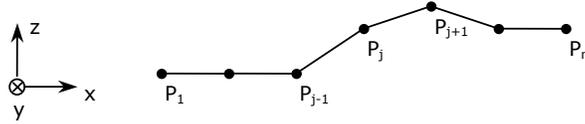


Bild 1: Skizze des Fasermodells

3 Faser-Bewegung

Die Faser-Bewegung hängt von verschiedenen Kräften ab. Sobald die Faser in die Zone mit Luftströmung eintritt, unterliegt sie dem Luftwiderstand. Die Luftströmung wird erzeugt durch die Superposition von (2-dimensionalen) analytischen Lösungen der Poisson-Gleichung für Senken, welche an verschiedenen Orten platziert werden (potential-flow theory [2]). Die resultierende Kraft (Faser i , Massenpunkt j) ist $F_{af,ij}$. Die Kette ist elastisch und flexibel, sie kann ihre Länge durch das Verändern der Distanz zwischen zwei benachbarten Punkten ändern und sie kann ihre Biegung ändern, indem der Winkel zwischen aufeinanderfolgenden Verbindungslinien verändert wird. Sobald Massenpunkte aus ihrer Gleichgewichtsposition bewegt werden, setzt eine Rückstellkraft auf sie ein. Wird die Distanz zwischen zwei Massenpunkten verändert, wirkt die Kraft $F_{e,ij}$ auf die Massenpunkte. Wird die Linie zweier aufeinanderfolgender Verbindungslinien aus ihrer Gleichgewichtsposition gebracht, wirkt $F_{b,ij}$ auf die Massenpunkte. Die Reibung zwischen zwei Massenpunkten, sowie die Reibung zwischen einem Massenpunkt und einem externen Körper führt zu einer Reibungskraft $F_{r,ij}$. Zudem, im Falle einer Drehbewegung, wirkt die Zentrifugalkraft $F_{c,ij}$ auf die Massenpunkte.

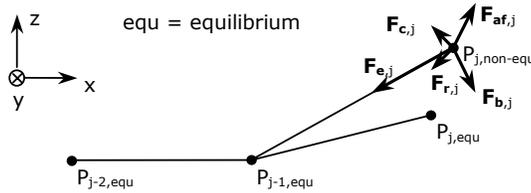


Bild2: Skizze der Kräfte

Das System hat somit für alle Massenpunkte sämtlicher Fasern die folgende Gleichgewichts-Gleichung zu erfüllen:

$$m \frac{\partial^2 r_{ij}}{\partial t^2} = F_{af,ij} + F_{e,ij} + F_{b,ij} + F_{r,ij} + F_{c,ij}$$

wobei r_{ij} die Position des Massenpunktes j der Faser i darstellt, m die Masse eines Massenpunktes, $F_{af,ij}$, $F_{e,ij}$, $F_{b,ij}$, $F_{r,ij}$ und $F_{c,ij}$, sind die oben definierten, auf die Massenpunkte wirkenden Kräfte.

4 Faser-Faser-Interaktionen

Faser-Faser-Interaktionen finden statt, sobald die Distanz zweier Massenpunkte ein Minimum unterschreitet, welches mechanischen Kontakt bedeutet. Die oben definierte Reibungskraft $F_{r,ij}$ ist ein erster Teil dieser Faser-Faser-Interaktionen. Zusätzlich können sich Massenpunkte gegenseitig stossen. Dieser Effekt wird mit dem Impulssatz (elastisch) modelliert.

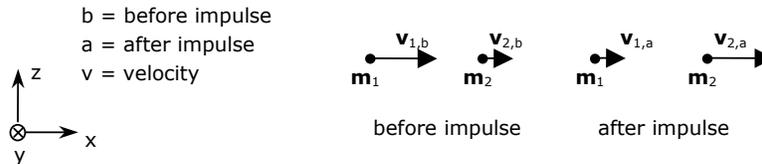


Bild 3: Impulssatz elastisch (1-dimensional)

Die Gleichungen für die Geschwindigkeiten sind (1-dimensional, $m_1 = m_2 = m$):

$$v_{1,a} = v_{1,b}, \quad v_{2,a} = v_{1,b}$$

Um diese Faser-Faser-Interaktionen zu berechnen, wird ein diskretes Gitter eingeführt. Jeder Massenpunkt nimmt einen Platz in diesem Gitter ein.

5 Numerische Simulation

Zur Lösung des Problems wird eine numerische Simulation angewandt. Als erstes werden die Anfangsbedingungen neu erzeugter Fasern, inklusive die Anfangsposition jedes einzelnen Massenpunktes einer Faser, zur Zeit t gesetzt. Als zweites werden $F_{af,ij}$, $F_{e,ij}$, $F_{b,ij}$, $F_{r,ij}$ und $F_{c,ij}$ jedes einzelnen Massenpunktes berechnet. Als drittes werden Faser-Faser-Interaktionen einbezogen. Als viertes werden die neuen Koordinaten der Position r_{ij} und der Geschwindigkeit v_{ij} zur Zeit $t + \Delta t$ berechnet. Durch das Wiederholen der Prozedur vom erstem bis zum vierten Schritt wird die Bewegung aller Massenpunkte berechnet.

6 Grafische Darstellung

Im Folgenden wird ein Ausschnitt aus der Simulation bei der Variante „Ohne vorgängige Kompaktierung“ gezeigt:

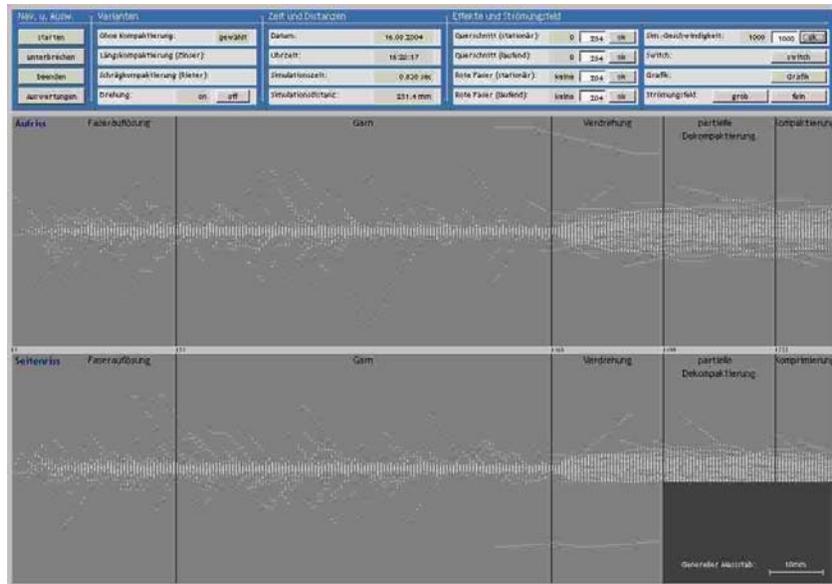


Bild 4: Grafik „Ohne vorgängige Kompaktierung“

Die Grafik für die Variante „Schräggkompaktierung“:

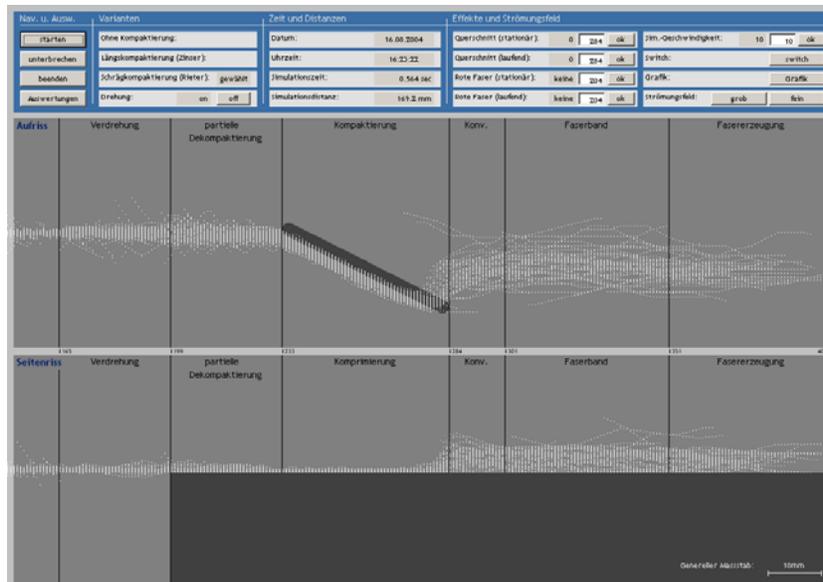


Bild 5: Grafik „Schräggkompaktierung“

7 Schlussfolgerungen

Vergleiche bezüglich der grundsätzlichen Befunde, wie beispielsweise der Migration der Massenpunkte, zeigen, dass die simulierten Resultate sehr gut mit den experimentellen Beobachtungen übereinstimmen. Die Haarigkeit und die Kompaktheit des erzeugten Garns sowie die Menge an verlorenen Fasern beim Spinnendreieck können mit der Simulation festgestellt und ausgelesen werden. Alternative Verfahren von mit Luftströmung erzeugter Kompaktierung können miteinander verglichen werden.

8 Literatur

- [1] Zeng, Y. C., and Yu, C. W., Numerical Simulation of Fiber Motion in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine, *Textile Res. J.* 74(2), 117-122 (2004).
- [2] Wilcox, D.C., *Basic Fluid Mechanics*, DCW Industries, La Cañada, CA, 331-390 (1997).