

Reibungsfreie Drallerteilung auf Basis der Supraleitungstechnologie

Zielsetzung

Im Zentrum der Grundlagenuntersuchungen steht die Erforschung eines neuartigen supraleitenden Ring-Drallelement-Systems für das Ringspinnverfahren in Kombination der Textil- und Supraleitungstechnologie mit der theoretischen Modellierung, Simulation und messtechnischen Untersuchung dieser Technologie unter dynamischem Fadenverlauf. Zunächst werden mit Hilfe der mathematischen Modellierung und der experimentellen Untersuchungen zu den dynamischen Kräfteverhältnissen während des Spinnprozesses die textiltechnologischen und die physikalischen Grenzen dieser neuen Technologie ermittelt. Anschließend werden die Wechselwirkungen der Prozess-, Technologie- und Supraleitungsparameter evaluiert und daraus die Gesetzmäßigkeit für den supraleitenden Magnetlagerring (SML-Ring) abgeleitet. Damit stehen als zentrales Ziel mit Abschluss dieses Vorhabens die wissenschaftlichen Grundlagen für den Einsatz von Magnetlagern auf Basis von Supraleitern in schnelllaufenden Textil- und Verarbeitungsmaschinen bereit. Mit dieser neuen Entwicklung bietet das neue supraleitende Magnetlager(SML) ein großes Potenzial zur Produktivitätserhöhung beim Ringspinnprozess

Lösungsweg

Im Rahmen der ersten Förderphase (DFG CH 174/33-1; SCHU 1118/12-1) konnten umfangreiche grundlegende Erkenntnisse zur reibungsfreien Drallerteilung auf Basis der Supraleitungstechnologie unter Berücksichtigung der Fadendynamik an Textilmaschinen gewonnen werden. Dabei wurden wesentliche theoretische, maschinentechnische und technologische Grundlagen erarbeitet, beispielsweise in der Materialmodellierung, der Simulation sowie der Entwicklung von Prüfmethode, die im Folgenden konzentriert dargestellt sind.

Ergebnisse

Die mathematische Modellierung des dynamischen Fadenlaufes wird durch die resultierenden Kräfte des Spinnprozesses in vier Bereichen (Bild. 1) unter Berücksichtigung des neuartigen Verfahrens mit dem SML-Hochleistungsdrallerteilungssystem hinsichtlich der Garnfeinheit, der Spindel- und Permanentmagnet-Drehzahl (PM-Drehzahl), der Ballongeometrie, der Ballongeschwindigkeit, der Masse von Permanentmagnet und Supraleiter sowie des Durchmessers des Permanentmagnet-Rings (PM-Ring) berechnet. Der Versuchsstand dieser neuen Technologie ist in Bild 1 dargestellt.

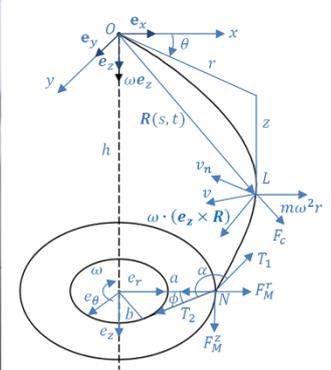
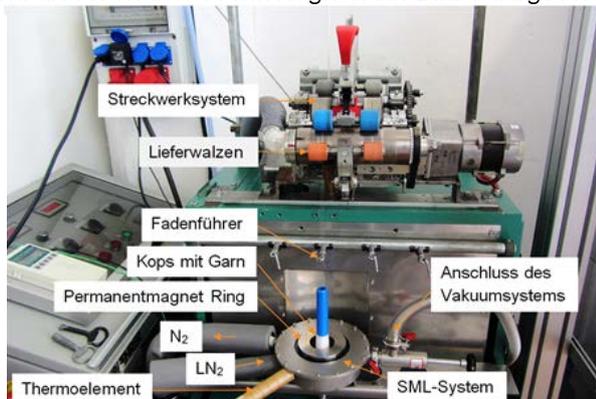
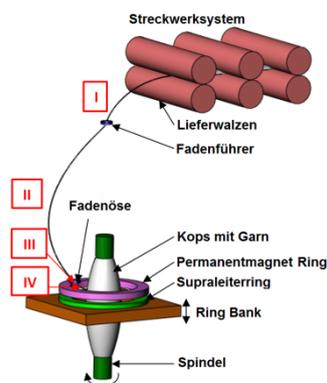


Bild 1: Fadenlauf und Versuchsstand des SML-Verfahrens. Bereich I: zwischen Lieferwalzen und Fadenführer; II: zwischen Fadenführer und Fadenöse am PM; III: Passage durch die Fadenöse am PM; IV: zwischen Fadenöse am PM und Aufwindepunkt am Kops

Bild 2: Definition des Koordinatensystems und des Fadenlaufs im SML-Verfahren

Die dynamischen Kräfte im Bereich I werden nicht berücksichtigt, weil der Fadenlauf in diesem Bereich gleichförmig erfolgt und keinen Beschleunigungen ausgesetzt ist. Der dynamische Fadenverlauf im Bereich II erfordert die Aufstellung eines geeigneten Modells, das die oben aufgeführten Randbedingungen berücksichtigt. In diesem Bereich wird ein Koordinatensystem definiert, das mit dem Inertialsystem mit der Winkelgeschwindigkeit der Spindel ($\omega = \omega e_z$) um seine Z-Achse rotiert (Bild. 1). Als

zugehörige Koordinaten werden $r(s)$, $\theta(s)$, $z(s)$ mit den Einheitsvektoren \mathbf{e}_r , \mathbf{e}_θ , \mathbf{e}_z definiert. Der Ortsvektor am Punkt L ist mit $\mathbf{R}(s, t) = r\mathbf{e}_r + z\mathbf{e}_z$ festgelegt, wobei r der Ballonradius und h die Ballonhöhe ist. Die Bewegungsgleichung der Fadendynamik im Bereich II wird unter Berücksichtigung der Garmassenträgheit, der Coriolis-Beschleunigung, der Zentrifugalkraft und des Luftwiderstands basierend auf dem Modell von Fraser wie folgt formuliert:

$$m\{\mathfrak{D}^2\mathbf{R} + 2\omega\mathbf{e}_z \times \mathfrak{D}\mathbf{R} + \omega^2\mathbf{e}_z \times (\mathbf{e}_z \times \mathbf{R})\} = \frac{\partial}{\partial s}\left(T\frac{\partial}{\partial s}\mathbf{R}\right) + \mathbf{F}. \quad (1)$$

mit m als Fadenmasse, \mathbf{R} als Ortsvektor am Punkt L (Abb.1:Rechts), $\mathfrak{D}^2\mathbf{R}$ als Fadenbeschleunigung am Punkt L , ω_{PM} als Winkelgeschwindigkeit des PM-Rings, \mathbf{e}_z als Basisvektor in Z-Richtung, s als Fadenbogenlänge, T als Fadenzugkraft am Fadenelement und \mathbf{F} als Luftwiderstand am Faden.

Der PM-Ring schwebt über dem Supraleiterring nach dem Levitationsprinzip und rotiert reibungsfrei (Bild. 1). Der PM-Ring hat keinen eigenen Antrieb, sondern wird durch das dort eingehängte Garn von der Spindel angetrieben. Jede Rotation des PM-Rings erteilt dem Garn eine Drehung. Der rotierende PM-Ring beeinflusst den dynamischen Fadenlauf und unterscheidet sich gegenüber dem Kraftverhältnis des konventionellen Ring-Läufer-Systems. Die Bewegungsgleichung des Fadens an der Fadenöse des rotierenden Permanentmagneten im Bereich III ist definiert als:

$$\dot{\omega}_{PM}J + D\omega_{PM} = T_G^\theta(t)a_{iPM} \quad (2)$$

mit T_G^θ als tangentielle Fadenzugkraft an der Fadenöse des PM-Rings, J als Trägheitsmoment des PM-Rings bei Rotation um die z-Achse, D als Dämpfungskonstante, a_{iPM} als Innenradius des PM-Rings und $(\dot{\omega}) \equiv d(\omega)/dt$. Beim Synchronlauf des PM-Rings mit der Spindel ist die Winkelbeschleunigung des PM-Rings $\dot{\omega}'_{PM} = 0$, damit kann Gl. (3) unter Annahme eines konstanten Reibungsparameters $g = e^{\mu_y\alpha}$ wie folgt beschrieben werden:

$$T_1[g \sin \phi - a_{iPM}\theta'(s_l)]a_{iPM} = D\omega_{PM} \quad (3)$$

Die Aufwindezugkraft T_2 im Bereich IV kann durch die Euler-Gleichung wie folgt ermittelt werden:

$$T_2 = T_1 \cdot e^{\mu_y\alpha} \quad (4)$$

wobei μ_y den Reibungskoeffizienten zwischen Garn und Fadenöse des PM bezeichnet und α den Umschlingungswinkel.

Die nicht-lineare Bewegungsgleichung (1) wird numerisch mit Hilfe des mathematischen Softwareprogramms „MATLAB“ mit der RUNGE-KUTTA-METHODE unter Berücksichtigung der Randbedingungen am Fadenführer (Bereich I) und an der Fadenöse des Permanentmagnets (Bereich III) gelöst. Da diese Bewegungsgleichungen stark nicht-linear sind, wird ein Algorithmus für eine Sensitivitätsanalyse entwickelt, um den richtigen Startwert zu bestimmen (Bild. 3).

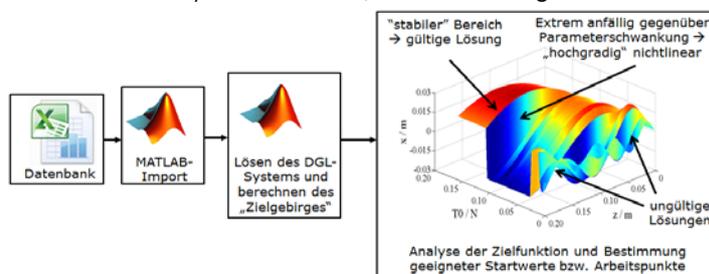


Bild. 3: Automatisierte Sensitivitätsanalyse

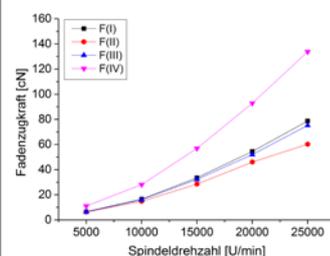


Bild 4: Berechnete Fadenzugkräfte in Bereichen I-IV bei den verschiedenen Spindeldrehzahlen

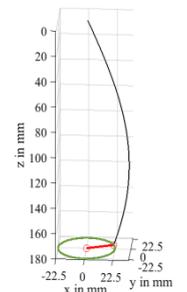


Bild 5: Ballonform bei einer Spindeldrehzahl von 20.000 U/min

Die Fadenzugkräfte in den Bereichen I-IV und die Ballonform im Bereich II werden mit dem entwickelten numerischen Modell am Beispiel von 100 % Polyester-garn (20 tex) mit verschiedenen Spindeldrehzahlen durchgeführt und die Ergebnisse der Modellierung in Bild. 4 dargestellt. Die Fadenzugkräfte steigen mit zunehmender Spindeldrehzahl signifikant in allen Bereichen. Die größte auftretende Fadenzugkraft im Bereich IV beträgt bei einer Spindeldrehzahl von 25.000 U/min rechnerisch 133,8 cN.

Künftig wird die neuartige Technologie mit supraleitendem Magnetlager (SML) hinsichtlich der Fadendynamik, des nicht linearen Fadendehnungsverhaltens sowie des harmonischen und nicht-harmonischen Schwingungsverhaltens des SML-Systems und des Fadens bei höheren Spindeldrehzahlen bis zu 50.000 U/min erforscht. Auf dieser Basis soll die Produktivität des Ringspinnverfahrens erstmalig mindestens verdoppelt werden.

Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeiten im Rahmen des Projekts DFG CH 174/33-1.