

MESSTECHNISCHE PROBLEME DER KRAFTVERHÄLTNISSE VON HOCHGESCHWINDIGKEITS-FADENBAHNEN

Von

M. JEDERÁN und G. VALÓ

Lehrstuhl für Textiltechnik und Leichtindustrie, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 30. März, 1979

Die Natur- und Kunstfasern werden bis zur Ausgestaltung der Fertigware verschiedenen Transportvorgängen unterzogen. Der Transport von Faserbahnen erfolgt mit Hilfe von Führungselementen, Bremsen, durch Massenkräfte bestimmten Bahnen ständiger oder wechselnder Geschwindigkeit. Der Faserbahnen-Transport kommt im allgemeinen in drei technologischen Hauptgruppen am häufigsten vor:

1. bei den Vorbereitungs- und Spinntechnologien auftretende Transportvorgänge (die Ausbildung des primären Fadenkörpers)
2. der zur Ausbildung des sekundären Fadenkörpers nötige Fadentransport (Spul-Zwirntechnologien)
3. Transport der Faden- oder Zwirnsysteme bei den Vorgängen der Warenbildung.

Die Kraftverhältnisse der Fadenbahnen bestimmen die ausgehenden Parameter der angegebenen Technologien. Bei Abweichung von den optimalen Spannungsverhältnissen wird die Fadenbahn unbestimmt sein oder abgebrochen, was die Quelle von Mengen- und Qualitätsproblemen sein kann. Durch die zeitgemäßen Hochgeschwindigkeitstechnologien wurde die Kenntnis der Kraftverhältnisse von Fadenbahnen zur Schwerpunktfrage, die Meßtechnik folgte aber den erhöhten Bedürfnissen nicht.

Die Fehler des Meßsystems machten die Untersuchung der Fadenkraftänderung an Hochgeschwindigkeits-Fadenbahnen unmöglich.

Die erste für die Messung der Fadenkraft geeignete Anlage wurde von OWEN im Jahre 1928 hergestellt (Abb. 1.). Als Fadenföhrelemente verwendete er Rollen, als Meßelemente eine Plattenfeder und ein besonderes Dämpfersystem. Der Kraftverlauf wurde mit phototechnischen Methoden registriert.

Das Prinzip der Fadenkraftmessung hat sich bis zum heutigen Tag nicht geändert. Die kompakte Ausführung (kleine Abmessungen, zusammengebauter Fadenföhre und Meßelement, elektromechanischer Meßumformer) sehr große Empfindlichkeit und Mobilität kennzeichnen den zeitgemäßen Meßkopf. Ein Dämpfersystem wird im allgemeinen nicht verwendet, das

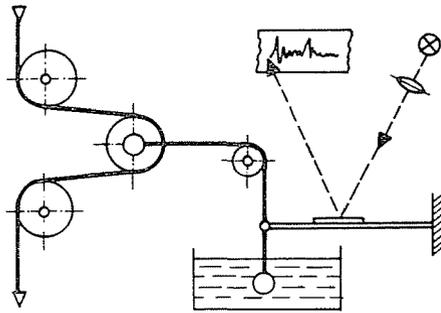


Abb. 1

Fadenführerelement kann mit Zapfen oder mit Rollen versehen, der Meßumformer ohmisch, kapazitiv, induktiv, oder piezoelektrisch sein. Zur Registrierung können Speise- oder Direktschreibersoszillographen verwendet werden.

1. Meßfehler der Fadenkraftmessung

Hauptgruppen der Meßfehler:

- a) Fehler des Meßprinzips
- b) Fehler durch Fadenführerelemente (Fehler des Meßkopfes)
- c) Übertragungseigenschaften des Meßelementes
- d) Fehler der Meßumformer, Verstärker und Registrierungssysteme.

Bei Untersuchung der Meßfehler beschränken wir uns auf die Untersuchung der Meßkopffehler. Außerdem unterscheiden wir noch statische, dynamische bzw. deterministische und stochastische Fehlerkomponenten. Im Falle des Meßkopfes sind die Fehlerkomponenten immer deterministisch, und werden immer durch die Meßbedingungen bestimmt.

1.1. Fehler des Meßprinzips

Die Fadenbahn ist ein System mit stochastisch verteilten Parametern. Der Meßeingriff erzeugt eine zusätzliche Krafterhöhung und verändert auch die Übertragungseigenschaften der Fadenbahn. Der Fehler des Meßprinzips kann durch Verminderung des Richtungsbruches oder durch Ausbildung der Führerelemente der Fadenbahn als Meßfühler vermindert werden.

Die erste Lösung vermindert die Empfindlichkeit, so kann sie nur beschränkt verwendet werden. Die zweite, meßtechnisch korrekte Lösung erfordert aber zu jeder Meßaufgabe, auch bei den gleichen Technologien, die

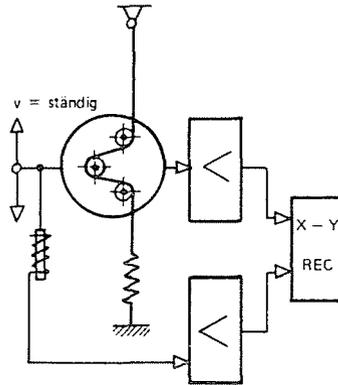


Abb. 2

Ausbildung von Einzelmeßfühlern. Eine vollkommene Lösung würde das berührungslose Erfassen bedeuten, aber solche Lösungen sind bis jetzt nicht bekannt.

1.2. Fehler durch Fadenführerelemente

Die Fadenführer mit Rollen wurden zu Verminderung der großen Fadenreibung bei dem Umschließen verwendet. Unter statischen Bedingungen kann sein Fehler vernachlässigt werden. Der Meßfehler wird durch die Exzentrizität der Rolle verursacht. Da die Bewegung des Meßelementes von 0,01—0,001 mm Größenordnung ist, verursacht auch bei Präzisionsausführung selbst die kleinste Rollensexzentrizität eine sinusförmige Abweichung. Drei solche Fadenführerelemente verursachen ein schwebendes Wellenbild, als Interferenz der durch beinahe gleiche Durchmesser verursachten Sinuswellen. Dieser Fehler wurde mit einem Meßkopf Typ ROTSCILD mit einer Meßgrenze von 10 N in der Schaltung laut Abb. 2. nachgewiesen (Abb. 3.). Das sinusförmige Schwingungsbild ist gut sichtbar, überlagert auch durch die Fehler der Rollenlagerung.

Der statische Fehler ist $\pm 2,5\%$, auf die maximale Meßgrenze bezogen. Auf der sich schnell bewegenden Fadenbahn kann die Exzentrizität der Rolle wegen der Massenkraft weitere Fehler verursachen. Für die Messung wurde das Fadenführerelement durch Luftstrahl aufgeschleudert. Die Drehzahl der Rolle wurde photoelektrisch (Abb. 4.) erfaßt.

Die Rolle verursacht bei einer Drehzahl von 1500 l/Min eine Abweichung von 0,25 N, was einen weiteren Meßfehler von 2,5% darstellt (Abb. 5.). Diese Drehzahl bedeutet bei einem Rollendurchmesser von 15 mm eine Umfangsge-

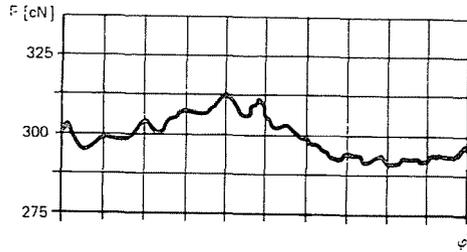


Abb. 3

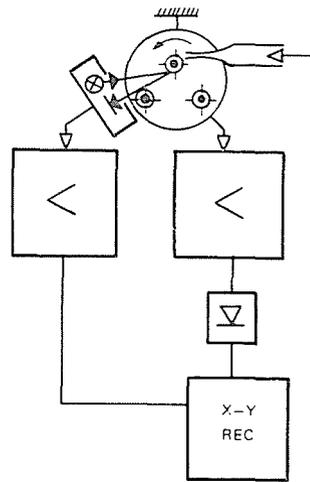


Abb. 4

geschwindigkeit von 1,2 m/s. Diese Geschwindigkeit ist etwa gleich 10% des allgemein verwendeten Geschwindigkeitsbereiches. Die Hochgeschwindigkeits-Fadenbahnen ($v > 20$ m/s) machen bei traditioneller Lagerung die Verwendung der Rollen unmöglich.

Manche Technologien (z. B. Greiferschützen-Webemaschinen) bilden dynamisch wechselnde Fadenbahnen aus ($v_{\max} > 30$ m/s, $a_{\max} > 10^4$ m/s²). Die Rollen sind unfähig, solchen Änderungen zu folgen (der äußere Ring des Kugellagers Typ SKF 632—22 hat z. B. ein Trägheitsmoment von $1,81 \cdot 10^{-7}$ Nms², wurde um der Fadenbahn schlupffrei zu folgen, eine Umfangskraft von 73,6 N F_{\max} brauchen, die mit Hilfe des Fadens nicht übertragbar ist).

Die Rollen gleiten auch schon bei wesentlich kleinerer Beschleunigung, so bilden sich bei Messungen auf Hochgeschwindigkeits-Fadenbahnen stochastische Reibungsverhältnisse aus, die für Fadenführer mit Zapfen kennzeichnend sind.

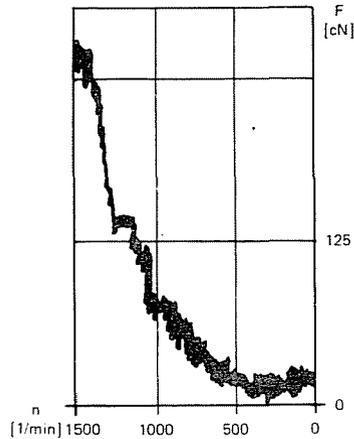


Abb. 5

Ein weiterer Nachteil ist das große Gewicht des Fadenführers, der die Übertragungseigenschaften des Meßelementes beeinträchtigen kann.

Als Fadenführerelemente werden in vielen Fällen Fadenführer mit keramischen oder Halbedelsteinzapfen verwendet.

Auf statischen Fadenbahnen verursachen die durch Umschließen erzeugten Reibungskräfte eine bestimmte Hysterisis, d. h. Unempfindlichkeit. Das Modell zur Messung der Hysterisis (Abb. 6.) ist das Modell für die Messung der Kettenspannung des Webvorganges. Wegen der großen Hysterisis (Abb. 7.) ist der Fadenführer mit Zapfen für statische Messungen nicht geeignet. In den anderen technologischen Vorgängen bewegt sich der Faden nur in einer Richtung und die Hysterisis wird durch den laufenden Faden eliminiert. Die Reibung verändert sich aber abhängig von Typ, Durchmesser und der Oberfläche des Fadens, darum kann der Meßkopf nur mit dem zu messenden Faden geeicht werden. Mit besonderer Sorgfalt soll auf die gleiche Richtung von Messung und Justierung geachtet werden. Der Reibungsfaktor ist auch bei dem gegebenen Faden nicht konstant, es ist mit wesentlichen Längenänderungen zu rechnen. Die Eichprobleme und die störende Wirkung der Reibungskraft können durch asymmetrische Anordnung vermindert werden (Abb. 8.).

Mit den Bezeichnungen in Abbildung 8 ist die gemessene Kraft in symmetrischer Anordnung:

$$F_s = F_1 [e^{\mu\alpha} \sin \alpha + e^{3\mu\alpha} \sin \alpha] \quad (1)$$

in asymmetrischer Anordnung:

$$F_{as} = F_1 e^{\mu\alpha} \sin \alpha \quad (2)$$

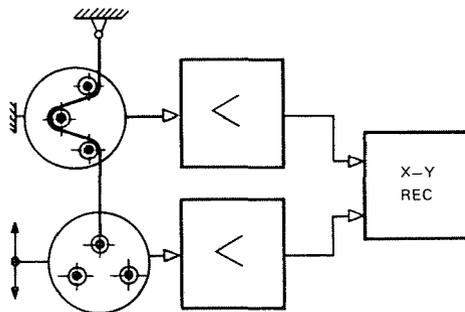


Abb. 6

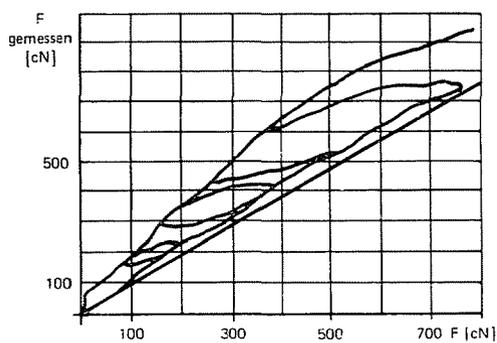


Abb. 7

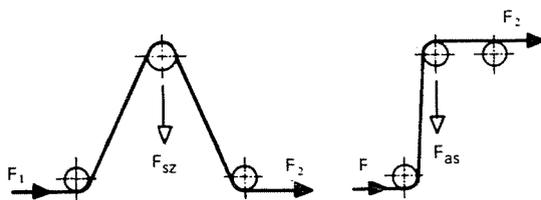


Abb. 8

Die Störungsempfindlichkeit eingeführt:

$$\frac{\partial F_s}{\partial \mu} = F_1 \alpha \sin \alpha [e^{\mu\alpha} + 3e^{3\mu\alpha}] \quad (3)$$

$$\frac{F_{as}}{\partial \mu} = F_1 \alpha \sin \alpha e^{\mu\alpha} \quad (4)$$

Vergleichen wir nun die Empfindlichkeit und Störungsempfindlichkeit der beiden Systeme.

$$\frac{F_s}{F_{as}} = \frac{e^{\mu x} + e^{3\mu x}}{e^{\mu x}} = 1 + e^{2\mu x} \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F_s}{F_{as}} = 2 \quad (5)$$

$$\frac{\frac{\partial F_s}{\partial \mu}}{\frac{\partial F_{as}}{\partial \mu}} = \frac{e^{\mu x} + 3e^{3\mu x}}{e^{\mu x}} = 1 + 3e^{2\mu x} \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial F_s}{\partial \mu}}{\frac{\partial F_{as}}{\partial \mu}} = 4 \quad (6)$$

Aus den Formeln (5) und (6) ist zu sehen, daß die symmetrische Anordnung eine empfindlichere, aber auch eine störungsempfindlichere Lösung ist. Die asymmetrische Anordnung ist wegen der spezifisch etwa halben Störungsempfindlichkeit günstiger. Ein Problem bedeutet aber die direkte Wirkung der transversalen Schwingungen der Fadenbahn auf das Meßelement, bzw. deren Beseitigung.

Die Fadenführerzapfen sind gegen die Geschwindigkeitsänderungen des Fadens unempfindlich. Ihre Ausbildung ist einfach, durch ihre verschwindend geringen Massen werden die dynamischen Eigenschaften des Meßelementes nicht beeinflußt.

1.3. Übertragungseigenschaften des Meßelementes

Das Meßelement für Fadenkraftmessung ist im allgemeinen deformierbar, als Konsolträger angeordnet. Die dynamischen Eigenschaften können an einem einfachen Modell (Abb. 9.) gezeigt werden. Die Wirkung der sinusförmigen Krafterzeugung kann an der bekannten Vergrößerungskurve (Resonanzkurve) verfolgt werden (Abb. 10.). Das Verhältnis (N) der Ein- und Ausgangssignale ist für die Größe des Meßfehlers (δ) kennzeichnend. Der Meßfehler hängt von der Dämpfung und der Erregenfrequenz (f_0) sowie der Eigenfrequenz (α_0) des Meßelementes ab.

Die Kennwerte des Systems:

$$\alpha_0 = (m \cdot c)^{-2}$$

$$D = k(2m\alpha_0)$$

hängen von Material und Geometrie des Meßelementes ab, so kann bei angegebener Fehlergrenze und dynamischen Anforderungen das entsprechende Meßelement gebaut werden.

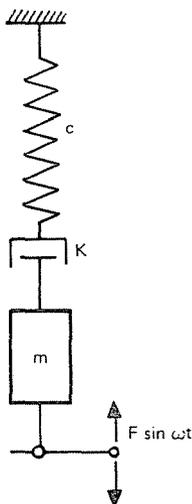


Abb. 9

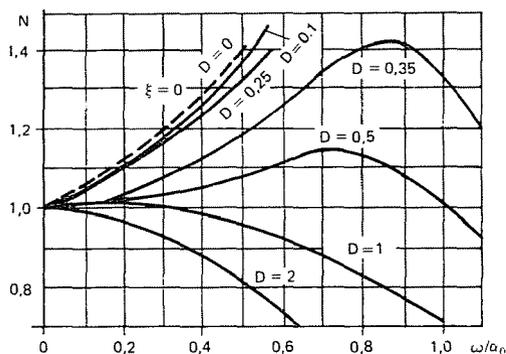


Abb. 10

2. Ausbildung eines zeitgemäßen Meßkopfes zur Webmaschine STB

Die zeitgemäßen Meßköpfe haben in jedem Falle eine spezielle Ausbildung, da die einzelnen Technologien an die Meßköpfe spezielle Forderungen stellen. Zur Bemessung der Webmaschine STB 2-216 wurden die Ansprüche an den Meßkopf bestimmt.

Aus der Webstuhldrehzahl von 240 l/Min ist die Grundschiebungsfrequenz 4 Hz. Der Schußvorgang hat eine Wellenlänge von $130^\circ/360^\circ$. Der

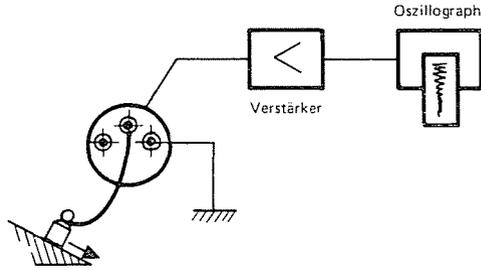


Abb. 11

Tabelle 1

Meßkopffestyp		Eigenfrequenz Hz
Rotschild	I	200
	II	180
	III	200
TKI Eltens	I	270
TU Budapest	I	630
	II	880

Beschleunigungsabschnitt mit einer Wellenlänge von 3 msec kann durch eine Sinusschwingung mit 250 Hz Frequenz angenähert werden. Diese Schwingungen werden wegen Formfehler des Fadens und Fadenkörpers durch zusätzliche Schwingungen überlagert. Die Brauchbarkeit der vorhandenen Meßköpfe zu dieser Meßarbeit wurde durch die Aufnahme ihrer Schwingungsbilder (Abb. 11.) nachgeprüft. Aufgrund des Schwingungsbildes der freien Schwingung können die Dämpfung und die Eigenfrequenz bestimmt werden. Die Meßergebnisse sind in Tab. 1. zusammengefaßt.

Diese Meßköpfe sind auch zur Abbildung der 250 Hz Schwingung nur mit einem 10%igen Fehler geeignet. Es ist notwendig, einen besser geeigneten Meßkopf zu entwickeln.

Bei Ausbildung des Meßkopfes sollen neben den technologischen Anforderungen auch die Übertragungseigenschaften des Meßverstärker-Registriersystems berücksichtigt werden. Der hierzu verwendete Verstärker (HBM KWS II/5) zeigt bis zur Frequenz von 1 kHz eine Verzerrung von 3%. Der Schleifenzosillograph hat eine max. Frequenz von 4 kHz, was abhängig von der Dämpfung bei 1 kHz eine Verzerrung von ca. 3% bedeutet, so kompensieren sich die Fehler des angeschlossenen Systems bis 1 kHz. Obwohl ein

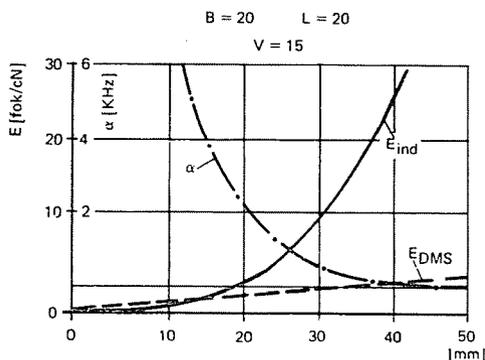


Abb. 12

Meßelement mit beliebiger Eigenfrequenz gebaut werden kann, beschränken die Möglichkeiten der Verstärkung die Erhöhung der Frequenz (Abb. 12). Der gegebene Verstärker ist für die Erfassung einer relativen Dehnung von min. 10^{-6} geeignet, und das bestimmt auch das Auflösungsvermögen des Fühlers. Das Problem wurde durch eine rechentechnische Prüfung entschieden. Die meßtechnischen Kennwerte wurden für praktisch durchführbare Geometrien berechnet. Die geometrischen, dynamischen, meßtechnischen Kennwerte der Meßelemente mit günstigen Eigenschaften abgedruckt, haben wir eine Tabelle erhalten, vor der eine einen breiten Bereich umfassende Meßelement-Gruppe ausgesucht werden kann. Als optimal wurde die Meßelement-Gruppe mit Plattenkonsole von 20 mm Eingriffsbreite, 20 mm Länge, 0,6—3 mm Gleichfestigkeit beurteilt. Der ausgeführte Meßkopf hat einen keramischen Führungszapfen, seine Anordnung ist für symmetrische, asymmetrische Fadenführung, für ein dämpfungsfreies Gleichfestigkeitsplattenfeder-Meßelement mit einem Umformer mit Dehnungsmeßstreifen geeignet. Sein Auflösungsvermögen ist 0,03 N, die Meßgrenze 70 N, die Eigenfrequenz 2,8 kHz, die Fadenrichtungsbrechung 30° .

Zusammenfassung

Es werden die Probleme der Fadenkraftmessung bei Hochgeschwindigkeits-Fadenbahnen geprüft. Es wird auf die üblichen Fehler der Meßkopfkonstruktionen hingewiesen, für deren Beseitigung die Abmessungen des Meßelementes mit einer Eigenfrequenz von 2,8 Hz den praktischen Anforderungen gemäß rechentechnisch bestimmt wurden.

Prof. Dr. Miklós JEDERÁN }
Gábor VALÓ } H-1521 Budapest