

KINEMATIK DES SCHUSSPULENS

Von

M. JEDERÁN

Lehrstuhl für Textiltechnologie und Leichtindustrie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 22. März, 1966)

Vorgelegt von Prof. Dr. A. VÉKÁSSY

Auf Schußpulmaschinen werden die Spulen durch gleichzeitige traversierende sowie Dreh- und Vorschreibewegungen hergestellt. Auf modernen Schußpulmaschinen führt die Spule rotierende, der Fadenführer hin- und hergehende Bewegungen aus. Der Fadenführer legt das Garn in Form einer Spirallinie auf den kegelstumpfförmigen Teil der Spule an (Abb. 1). Auf eine vollständige Hin- und Herbewegung des Fadenführers entfallen — je nach der Art des Spulenumaterials — 14 bis 60 Windungszahlen, womit eine einzelne kegelige Schicht aufgespult wird. Durch sein periodisches Vorschreiten baut der Fadenführer die einzelnen kegeligen Schichten der Schußspule aufeinander auf und bildet damit die zylindrische Form der Schußspule aus.

Die Struktur der kegeligen Schicht der Schußspule bleibt von der Vorschreibewegung des Fadenführers praktisch unbeeinflusst. Die Kennzeichen der kegeligen Schicht (Kegelhöhe, Kegelwinkel, Windungsteigungswinkel oder Spulgeschwindigkeit usw.) hängen von der Übereinstimmung der rotierenden mit der gleichzeitigen Hin- und Herbewegung ab.

1. Beziehung zwischen Fadenführerhub und Schußspulenabmessung

Die Struktur einer Schußspule ist der einer konischen Kreuzspule ähnlich, in ihren Aufbauweisen weichen jedoch die beiden Spulenarten voneinander grundsätzlich ab. Bei den Schußspulen sind die die konische Fläche bestimmenden Abmessungen, d. h. die beiden Grundkreisradien des Kegelstumpfes sowie die Kegelstumpfhöhe konstant. Beim Schußspulen rotiert die Spule stets mit konstanter Drehzahl, und zwischen dem Fadenführungspunkt (Abb. 1. V) und dem Fadenanlaufpunkt (Abb. 1. A) ist stets eine beträchtliche freie Garmlänge vorhanden.

Die charakteristischen Aufwicklungsverhältnisse beim Schußspulen sind in Abb. 2 dargestellt.

Beim Schußspulen wird die Kegelfläche durch den Fadenführer nicht berührt, vielmehr bewegt sich dieser — wie dies aus Abb. 2 ersichtlich ist — in

der vertikalen Halbierungsebene der Spule an der Geraden $a-a$ entlang, die im Abstand h parallel zur Spulenchse verläuft.

Von der vom Scheitelpunkt O des Spulenkogels im Abstand y gelegenen Spulenschnittebene mit dem Radius R kann festgestellt werden, daß sie mit dem Garn den Winkel α einschließt. Verschiebt sich die Fadenführeröse V längs der Geraden $a-a$ in die mit dem Pfeil bezeichnete Richtung, eilt sie dem Spulenquerschnitt um den Abstand a vor. Das Garn läuft also erst nach dem Einlauf der freien Garmlänge $V - A$ auf die Schußspule an. Infolgedessen ist in der Praxis der Hub des Fadenführers stets größer als die Kegelhöhe der Schußspule.

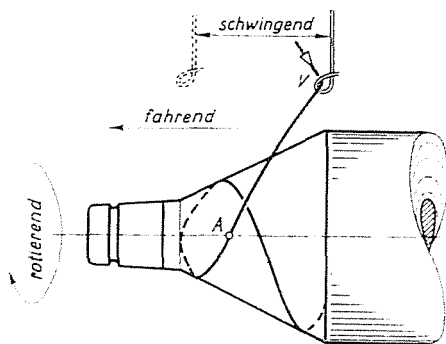


Abb. 1. Prinzip des Schußspulens

Das Voreilen der Fadenführeröse ist aus dem Dreieck AVV' der Abbildung 2

$$a = b \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

wobei α der Windungsteigungswinkel des Garns ist. Mit den Bezeichnungen der Abb. 2 wird

$$b = \sqrt{h^2 - R^2}. \quad (2)$$

Der momentane Windungsteigungswinkel läßt sich durch den Windungsteigungswinkel α_0 des beim großen Durchmesser $2R_2$ aufgetragenen Garnabschnitts ausdrücken.

Auf Grund der Abb. 2 kann

$$di : di_0 = y : M$$

bzw.

$$\operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{dy}{di} : \frac{dy}{di_0}$$

geschrieben werden.

Aus dem Gesagten folgt, daß

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{di_0}{di} \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{M}{y} \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (3)$$

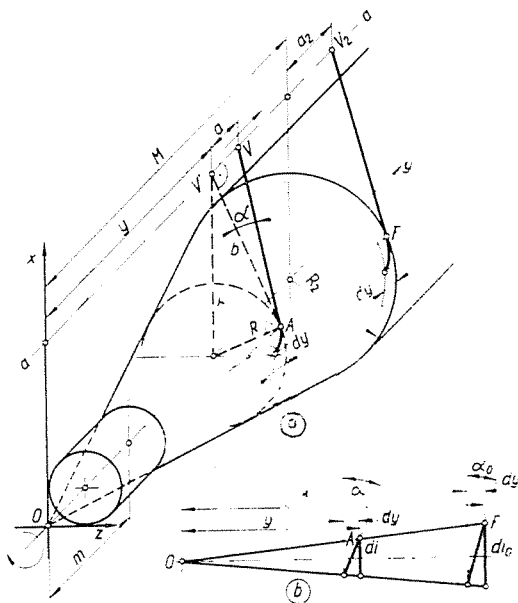


Abb. 2. Die relative Lage des Fadenführers und die der Schusspule während des Spulvorgangs

Ist die Geschwindigkeit V_v des Fadenführers — annahmegemäß — konstant und der ebenfalls konstanten Spulenwinkelgeschwindigkeit ω proportional, wird

$$V_v = C_0 \omega, \quad (4)$$

und beträgt am großen Durchmesser der Spule die Umfangsgeschwindigkeit

$$V_{k_2} = R_2 \omega, \quad (5)$$

dann ist

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{V_v}{V_{k_2}} = \frac{C_0}{R_2}. \quad (6)$$

Damit kann nun die Größe des Voreilens im Umkehrpunkt des Fadenführers bereits bestimmt werden. Aus den Gleichungen (1), (2) und (6) schreibt sich das Voreilen des Fadenführers beim großen Spulendurchmesser zu

$$a_2 = \operatorname{tg} \alpha_0 \sqrt{h^2 - R_2^2} = \frac{C_0}{R_2} \sqrt{h^2 - R_2^2}. \quad (7)$$

Gemäß Abb. 3 ist beim kleinen Durchmesser der Spule $y = m$, womit Gl. (3) in die Form

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M}{m} \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{R_2}{R_1} \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{C_0}{R_1} \quad (8)$$

übergeht.

Mit dieser und mit der Beziehung (2) erhält man aus (1) beim kleinen Durchmesser des Kegelstumpfes für die Größe des Voreilens

$$a_1 = \frac{C_0}{R_1} \sqrt{h^2 - R_1^2}. \quad (9)$$

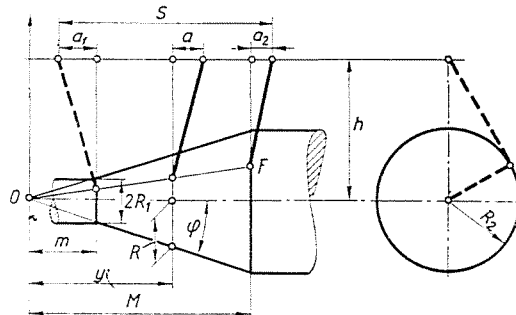


Abb. 3. Die Umkehrpunkte des Fadenführers an den Stirnflächen des Kegelstumpfes der Spule

Die Konizität des Garnkörpers läßt sich in erster Näherung aus der Höhe des Garnkörperkegelstumpfes gemäß Abb. 3 zu

$$m_k = M - m = S - (a_1 + a_2) \quad (10)$$

bestimmen. Hieraus ist

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_2 - R_1}{m_k} \quad (11)$$

und die volle Kegelhöhe der Spule

$$M = \frac{R_2}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (12)$$

Drückt man den momentanen Spulendurchmesser durch den Kegelwinkel des Garnkörpers aus, nimmt das Voreilen des Fadenführers die allgemeine Form

$$R = y \operatorname{tg} \varphi \quad (13)$$

an.

Mit den Beziehungen (13), (12), (3) und (2) ergibt sich aus (1) für das Voreilen des Fadenführers

$$a = R_2 \operatorname{tg} \alpha_0 \sqrt{\frac{h_2}{y^2 \operatorname{tg}^2 \varphi} - 1}. \quad (14)$$

Im folgenden werden für eine Hacoba-Schußpulmaschine die Abmessungen der Spule und das Voreilen des Fadenführers bei Spulen mit Halb-

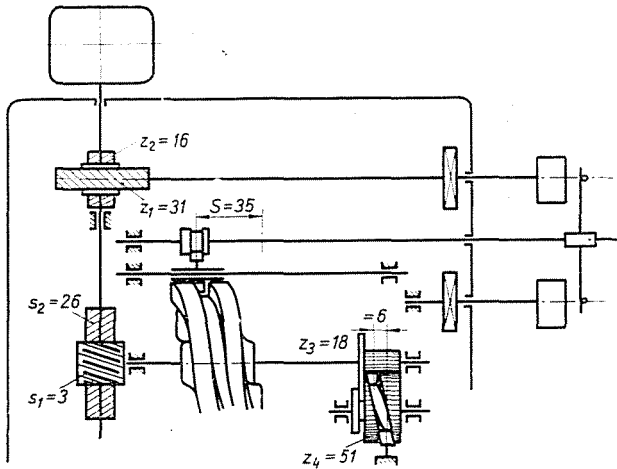


Abb. 4. Die Konstruktion des Fadenführers an einer Hacoba Schußpulmaschine

messern $R_2 = 16, 15, 14, 13$ mm bestimmt. Ferner sind mit den Bezeichnungen der Abb. 3 $h = 30$ mm, $R_1 = 6$ mm. Die Bewegung des Fadenführers geht aus Abb. 4 hervor ($S = 35$ mm).

Zur Bestimmung der Fadenführungsgeschwindigkeit kann anhand der Abb. 4

$$y_v = \frac{S}{\pi} \varphi_v$$

geschrieben werden, wobei y_v die der Verdrehung des fadenführenden Nutenexzentrers um φ_v zugehörige Bewegung des Fadenführers bedeutet.

Durch Differenzierung dieser letzten Beziehung ergibt sich die Geschwindigkeit des Fadenführers zu

$$v_v = \frac{dy_v}{dt} = \frac{S}{\pi} \frac{d\varphi_v}{dt} = \frac{S}{\pi i} \omega.$$

Hierin ist i das Übersetzungsverhältnis zwischen Nutenexzenterwelle und Antriebskopf.

Mit den Bezeichnungen und Angaben der Abb. 4 hat man nun

$$C_0 = \frac{S}{\pi i} = \frac{S}{\pi} \frac{z_2}{z_1} \frac{S_1}{S_2} = 0,664, \quad (15)$$

woraus man bei verschiedenen Spulendurchmessern für die charakteristischen Abmessungen der Spule folgende Werte erhält:

R_2 mm	16	15	14	13	
α_0	2°22'35"	2°32'04"	2°42'53"	2°55'26"	[mit der Beziehung (6)]
a_2 (mm)	1,053	1,145	1,258	1,381	[mit der Beziehung (7)]
a_1 (mm)	3,251	3,251	3,251	3,251	[mit der Beziehung (9)]
m_k (mm)	30,696	30,599	30,491	30,368	[mit der Beziehung (10)]
φ°	18°03'	16°33'	14°42'	12°59'	[mit der Beziehung (11)]

Hieraus erhellt, daß die Kegelstumpfhöhe der Spule einer Hacoba-Schußpulmaschine bei Spulendurchmessern von 26—32 mm um 12—13,5% kürzer ist als die Größe des Fadenführerhubes. Bei abnehmendem Spulendurchmesser ist das Voreilen des Fadenführers beim kleinen Durchmesser konstant, während sein Wert beim großen Durchmesser zunimmt. Dabei verkleinert sich der Kegelwinkel der Spule. (Nimmt der Spulendurchmesser z. B. von 32 mm auf 26 mm ab, verkleinert sich der Kegelwinkel der Spule um 22,4%.)

2. Anordnung des Garns am Konus der Schußspule. Der genaue Wert der Kegelstumpfhöhe der Spule

Für den Steigungswinkel der auf den Konus der Schußspule mit konstanter Fadenführergeschwindigkeit aufgewickelten Garnlagen wurde eine allgemeine Beziehung bereits abgeleitet [Gl.(3)]. Im Sinne dieser Beziehung zeigt die Abnahme des Windungsteigungswinkels nach der Kegelspitze hin einen hyperbolischen Verlauf.

Bei idealer, mit konstanter Geschwindigkeit ausgeführter Bewegung ändert der Fadenführer seine Bewegungsrichtung, sobald er seinen Umkehrpunkt erreicht. Das auf den Spulenkegel auflaufende Garn kann jedoch — wegen der freien Garnlänge — nur dann mit regelmäßig steigendem Bewicklungswinkel auf das

Kegelgebilde aufgespult werden, wenn das Voreilen des Fadenführers nach dem Richtungswechsel einen bestimmten Wert erreicht. Das Garn wird z. B. durch den Fadenführer nur dann regelmäßig auf den Spulengegel aufgetragen, wenn der Fadenführer nach dem Umkehrpunkt V_1 an der Spulenspitze (Abb. 5) den Voreilab-

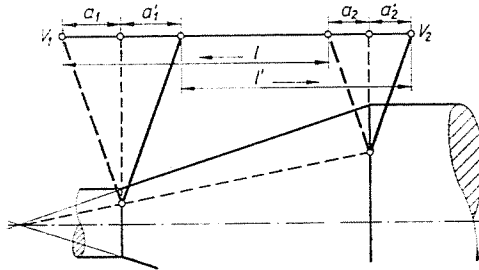


Abb. 5. Die Umkehrabschnitte des Fadenführers

stand $(a_1 + a_1')$ und nach dem Umkehrpunkt V_2 am Spulenguß den Voreilabstand $(a_2 + a_2')$ bereits durchlaufen hat. Während der Umkehrbewegung des Fadenführers verkleinert sich der Windungsteigungswinkel des Garns auf Null, um jedoch danach wieder anzuwachsen. Entsprechend wickelt sich in dem nahe der Kegelstirnfläche liegenden Abschnitt eine größere Garnlänge auf.

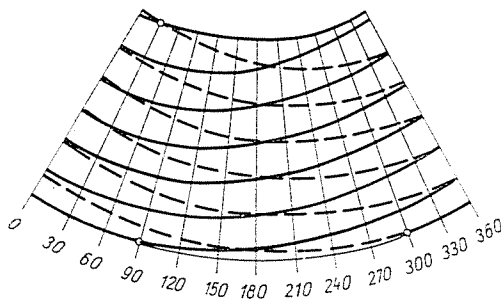


Abb. 6. Die Anordnung der Garnlagen am abgewickelten Kegelmantel einer an einer Schärer-schusspulmaschine hergestellten Schusspule

Abb. 6 zeigt die auf dem abgewickelten Kegelmantel einer Schusspule liegenden Garnwindungen, die durch Kopieren aufgenommen wurden. Die Abbildung läßt erkennen, daß die Garnwindungen bei der Umkehr von den beiden Grundkreisen des abgewickelten Kegelmantels kaum abweichen.

Im Abschnitt der Umkehrbewegung beschreibt die Anordnungskurve des Garns eine Schleppkurve (Traktrix). Die Gleichung der Kurve läßt sich auf Grund der Abb. 7 aufschreiben. Auf der Abbildung sind die Bewegung des Fadenführers und die freie Garnlänge gemäß Abb. 2 in einer gemeinsamen Ebene, in jener der jeweiligen freien Garnlänge, ausgebreitet aufgetragen.

Wenn der Fadenführer den im Abstand $M + a_2$ vom Spulengegel liegenden Umkehrpunkt V_2 erreicht, läuft das Garn im Punkt F auf die Spule auf. Während sich die Spulenfläche um den Wert von

$$x = V_k t \quad (16)$$

fortbewegt, schreitet der Fadenführer von dem Umkehrpunkt V_2 nach V' , während sich der Anlaufpunkt des Garns nach F' verschiebt. Dabei legt sich das Garn auf der Spulenfläche an einer Kurve entlang. Die Tangente an diese Kurve im Punkt F' ist die freie Garmlänge $F'V'$.

Der vom Fadenführer in der Zeit t zurückgelegte Weg errechnet sich gemäß Abb. 7 zu

$$y_v = V_v t. \quad (17)$$

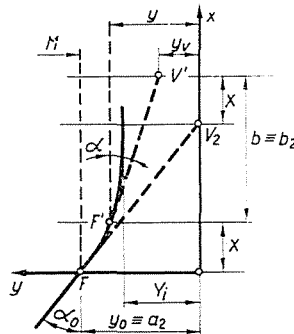


Abb. 7. Die während der Umkehr des Fadenführers entwickelte Garnanordnungskurve an der Schußspule

Aus (16) und (17) wird

$$y_v = \frac{V_v}{V_k} x.$$

Für den Umkehrabschnitt der Garnanordnungskurve sei näherungsweise angenommen, daß die Spule zylindrisch ist. (Praktisch ist diese Annahme durchaus zulässig, weil die Kurve der Garnanordnung, wie aus Abb. 6 ersichtlich, von den Grundkreisen des Kegelmantels kaum abweicht.) Aus Abb. 7 hat man daher

$$\frac{V_v}{V_k} = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{a_2}{b} = \text{konst.},$$

womit aus (17)

$$y_v = \frac{a_2}{b} x \quad (18)$$

gilt.

Aus Abb. 7 kann man weiterhin

$$-\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg} \alpha = \frac{y - y_r}{b} \quad (19)$$

schreiben.

Mit (18) nimmt die Differentialgleichung (19) der Garnanordnungskurve die Form

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a_2}{b_2} x - \frac{y}{b} = Ax + By \quad (20)$$

an, wobei

$$\begin{aligned} A &= \frac{a_2}{b_2} \\ B &= \frac{1}{b}. \end{aligned} \quad (21)$$

Mit der Substitution

$$u(x) = Ax + By$$

hat die Differentialgleichung (20) eine getrennte Variable, deren allgemeine Lösung sich wie folgt aufschreiben läßt:

$$K e^{-\frac{x}{b}} = \frac{a_2}{b^2} - \frac{a_2}{b^3} x + \frac{y}{b^2}. \quad (22)$$

Gemäß Abb. 7 sind die Anfangsbedingungen:

$$x_0 = 0 \text{ und } y_0 = b \operatorname{tg} \alpha_0 = a_2,$$

womit sich aus (22)

$$K = 2 \frac{a_2}{b^2} \quad (23)$$

und die endgültige Form der Lösung zu

$$y = a_2 \left(\frac{x}{b} - 1 + 2e^{-\frac{x}{b}} \right) \quad (24)$$

ergibt.

Mit Berücksichtigung der Gleichung (24) der Garnanordnungskurve kann die tatsächliche Höhe des Spulengegels, die laut Abb. 5 um den Wert $a_1 + a_2'$ kleiner ist als der Hub des Fadenführers, genauer bestimmt werden. Die Werte a_i sind durch die Grenzwerte der Gleichung (24) der Garnanordnungskurve gegeben.

Durch Differenzierung von (24) erhält man

$$\frac{dy}{dx} = 1 - 2e^{-\frac{x}{b}} = 0,$$

woraus sich für die Grenzwerte unter Berücksichtigung der Gleichung [2]

$$x_i = b_i \ln 2 = \sqrt{h^2 - R_i^2} \ln 2 \quad (25)$$

ergibt. (Die mit dem Index i bezeichneten Werte müssen durch die dem kleinen bzw. großen Durchmesser entsprechenden Werte ersetzt werden.)

Unter Anwendung obiger Werte läßt sich z. B. die tatsächliche Kegelhöhe des Garnkörpers von Spulen verschiedenen Durchmessers, die auf der Hacoba Schußpulmaschine hergestellt werden, wie folgt ermitteln:

Die Stelle des Grenzwertes der Garnordnungskurve am großen Durchmesser der Spule (bei $2R_2 = 32$ mm) liegt bei

$$x_2 = \sqrt{h^2 - R_2^2} \ln 2 = 17,59 \text{ mm.}$$

am kleinen Durchmesser der Spule bei

$$x_1 = \sqrt{h^2 - R_1^2} \ln 2 = 20,37 \text{ mm.}$$

Durch Einsetzen obiger Angaben in (24) und unter Berücksichtigung der Verhältnisse von Abb. 7 ergibt sich die Lage des Endpunktes der Garnordnungskurve am großen Spulendurchmesser zu

$$y_2 = a_2 \left(\frac{x_2}{b_2} - 1 + 2e^{-\frac{x_2}{b_2}} \right) = 0,73 \text{ mm,}$$

während er sich am kleinen Durchmesser $R_1 = 6$ mm bei

$$y_1 = a_1 \left(\frac{x_1}{b_1} - 1 + 2e^{-\frac{x_1}{b_1}} \right) = 2,25 \text{ mm}$$

befindet.

Aus Abb. 3 und 7 geht hervor, daß sich das bei dem großen Durchmesser aufgenommene Koordinatensystem von der Spitze O des Spulenkegels in einem Abstand von $(M + a_2)$ befindet.

Mit dem Grenzwert der Garnanordnungskurve liegt die untere Grundfläche des Spulenkegels mit dem größeren Durchmesser von der Spitze O des Konus

$$M' = M + a_2 - y_2 = 49,439 \text{ mm}$$

entfernt, während der Abstand zwischen oberer Grundfläche mit dem kleinen Durchmesser und der Spitze O

$$m' = m - a_1 + Y_1 = 17,4168 \text{ mm}$$

beträgt.

Die tatsächliche Höhe des Kegelstumpfes ist demnach

$$m_k = M' - m' = 32,0208 \text{ mm},$$

d. h. die genaue Höhe des Kegelstumpfes ist um 8,5% kürzer als der Hub des Fadenführers.

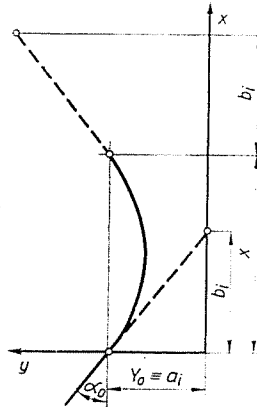


Abb. 8. Der Umkehrabschnitt des Garns

3. Die Umkehr des Fadens am Spulenkegel

Die Winkelverdrehung der Spule, unter der sich die Fadenumkehr abspielt, ist ein wichtiges Kennzeichen des Spulenkegels (Abb. 8 X). An der durch die Gl. (24) angegebenen Kurve läßt sich die Beendigung der Umkehr schwer definieren. Die Beziehung ist nämlich die Summe einer linearen und einer exponentiellen Funktion. Die Summenfunktion ist ebenfalls eine exponentielle Kurve, die sich jedoch der Geraden nur bei unendlich großem X anschmiegt. Im weiteren wird die Umkehr durch den zwischen den Punkten mit der Ordinate $Y_0 \equiv a_i$ liegenden Abschnitt der Kurve gedeutet.

Durch Substituierung der Bedingung $Y \equiv a_i$ in die Beziehung (24) ergibt sich

$$x_i = 2 b_i \left(1 - e^{-\frac{x_i}{b_i}} \right). \quad (26)$$

Die letztere Formel gibt den Spulenumfang während der Fadenumkehr an. Die Beziehung ist für x_i implizit, daher kann sie z. B. nur graphisch gelöst

werden. Abb. 9 zeigt die Lösung für einen großen Durchmesser $2R_2 = 30$ mm und für einen kleinen Durchmesser $2R_1 = 12$ mm.

Aus Abb. 9 geht hervor, daß der Umkehrabschnitt des Garns beim großen Spulendurchmesser einem Spulenumfang von $X_2 = 42,3$ mm, beim kleinen Durchmesser hingegen einem Spulenumfang von $X_1 = 47,8$ mm entspricht. Dies bedeutet, daß sich die Umkehrbewegung beim großen Durchmesser während einer Spulenverdrehung von

$$\Phi_2 = \frac{180}{\pi} \frac{X_2}{R_2} = 183^\circ$$

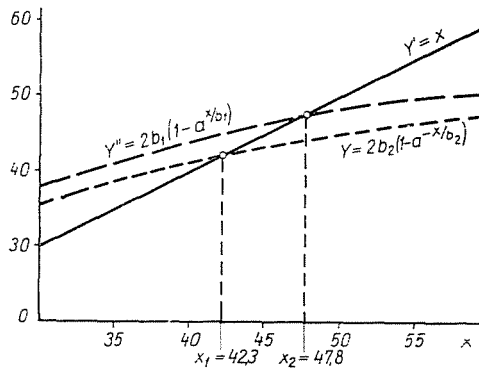


Abb. 9. Graphische Lösung der Beziehung [21]

und beim kleinen Durchmesser während einer Spulenverdrehung von

$$\Phi_1 = \frac{180}{\pi} \frac{X_1}{R_1} = 404^\circ$$

abspielt.

Bei dem beschriebenen Verlauf der Windungsumkehr müßte man — besonders an der Spulenspitze — mit der Überlagerung der Windungen rechnen. An den modernen Schußspulmaschinen wird dies durch Verlegung der Garnlagen verhindert. Die dazu dienende Fadenverlegungsrichtung ändert die traversierende Bewegung des Fadenführers in der Weise, daß es an den Umkehrpunkten zu keiner Überlagerung der Garnwindungen kommen kann.

4. Folgerungen

Durch die kinematische Analyse des Schußspulens werden für die Bestimmung der charakteristischen Abmessungen der Spule (Kegelwinkel, Kegelhöhe) Beziehungen abgeleitet. Es wurde gezeigt, daß die Kegelhöhe der Spule

wegen der zwischen dem Fadenführer und dem Garnkörper vorhandenen freien Garnlänge vom Durchmesser des Garnkörpers abhängt, daß sie jedoch stets kleiner ist als der Hub des Fadenführers.

Es wurde weiterhin gezeigt, daß das Garn zufolge des Voreilens des Fadenführers während seiner Umkehr eine Schleppkurve beschreibt. Auf Grund der für die Garnumkehrkurve abgeleiteten Beziehungen wurde der Umkehrabschnitt definiert, der z. B. an einer Hacoba Schußspulmaschine bei einem kleinen Spulendurchmesser von 12 mm einem Spulenumfang von 404° , und bei einem großen Spulendurchmesser von 30 mm einem Spulenumfang von 183° entspricht. Da das Garn im Umkehrabschnitt praktisch längs des Umfanges der beiden Grundkreise des Spulkegels liegt, müssen die Garnlagen zur Verhinderung der Überlagerung der Garnwindungen (Randbildung) verlegt werden. Die an den modernen Schußspulmaschinen vorhergesehenen Fadenverlegungsvorrichtungen dienen daher nicht zur Erhöhung der Spulenfestigkeit, sondern zur Verhinderung der Überlagerung von Garnschichten.

Zusammenfassung

Der Artikel analysiert die Kinematik des Schußspulens sowie die Ausgestaltung der Spulenmaße, ausgehend von den Bedingungen der Fadenführung. Verfasser beschreibt den Vorgang des Fadenrücklaufs und betont die Notwendigkeit der Lagenübersetzung zwecks Vermeidung der Verformung der Spulen.

Literatur

1. PFEIFER, A.: Technologie tkalcovstvi automatické utkové soukací stroje (Automatische Schußspulmaschinen). Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1960.
2. KOVÁCS, B.: A Schärer automata vetüléksévvéló vizsgálata (Untersuchung der automatischen Schußspulmaschine Schärer). Diplomarbeit, Budapest 1959.
3. POMPE, F.: Tkalcovské stroje I. Příprava pro tkání a pletení (Webtechnologie I. Vorbereitung). Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1961.
4. DOBAI, J.: Modern kúpos keresztcsévvélógépek vizsgálata (Untersuchung der modernen komischen Spulmaschinen). Diplomarbeit, Budapest 1957.
5. JEDERÁN, M.: Korszerű szövőelőkészítő technológiák és gépek I. (Moderne Vorbereitungstechnologien und Maschinen der Weberei, I.) Lehrbuchverlag, Budapest 1965.
6. JEDERÁN, M.: Korszerű szövőelőkészítő technológiák és gépek II. (Moderne Vorbereitungstechnologien und Maschinen der Weberei, II.) Lehrbuchverlag, Budapest 1965.

Dr. Miklós JEDERÁN, Budapest XI., Stoczek utca 2. Ungarn.