Zeitschrift: Mitteilungen über Textilindustrie : schweizerische Fachschrift für die gesamte Textilindustrie

Herausgeber: Verein Ehemaliger Textilfachschüler Zürich und Angehöriger der Textilindustrie

Band: 76 (1969)

Heft: 9

Artikel: Steuerungen und Regelungen an Streckzwirnmaschinen

Autor: Graf, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-677521

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

arbeitung, einfach voraus, dass er «läuft». Bei den Gliedern am Eingang und Ausgang, d. h. den Wandlern und den Ausführungsorganen, ist man eher zu Konzessionen bereit. Dies aus dem einfachen Grunde, weil hier der Nichtelektroniker noch versteht, was die Elektronik mit seiner Maschine tut, und ihm demzufolge hier noch eine objektive Beurteilung der Sachlage möglich ist.

Diese Wandlung hat wichtige Konsequenzen für den Hersteller von industrieller Elektronik. In positivem Sinne hat sie zur Folge, dass man bei den Wandlern und Ausführungsorganen eher an die Toleranzgrenzen herangehen darf, weil einem Ausfall dieser Glieder mehr Verständnis entgegengebracht wird als dem signalverarbeitenden Teil. In negativem Sinne bewirkt sie dagegen, dass bei jeder Störung der Gesamtanlage mit Sicherheit zuallererst der Fehler im «elektronischen Kasten» gesucht wird; hier muss also äusserst vorsichtig dimensioniert werden. Wenn man aber diesen Tatsachen gebührend Rechnung trägt, so stehen heute der Elektronik gerade in ihrer Anwendung für die Fadenüberwachung an textilen Produktionsmaschinen die Türen offen.

Literatur

[1] W. Eichenberger, E. Loepfe, Der Elektroniker 2, 3 (1963)
[2] P. Dosch et. al., Schweiz. Patentschriften 441172, 455672
[3] W. Hranitzky, Loepfe-Revue 6, 5 (1967) (Firmenzeitschrift der Aktiengesellschaft Gebrüder Loepfe, Zürich)
[4] W. Hranitzky, Melliand Textilberichte 9, 1032 (1968)

Adresse des Autors: Dr. sc. nat. Erich Loepfe, dipl. Physiker, Sennhofstrasse 44, 8125 Zollikerberg

---

Steuerungen und Regelungen an Streckzwirnmaschinen

Dipl.-Ing. F. Graf

DK 677.051.125.3
: 62-52 Ch

Zusammenfassung

Die Maschinenleistung und die Produktqualität können gesteigert werden mit programmierter Spindeldrehzahl. Ein Lochstreifen als Programmgeber liefert den Sollwert an den geregelten Thyristor-Gleichstromantrieb.

Für die Temperaturregelung von Heizplatten werden elektronische Regler in grossen Stückzahlen eingesetzt. Trotz guter Regelung können längs der Heizplatte grosse Temperaturunterschiede auftreten.

1. Der Arbeitsvorgang beim Streckzwirnen

Die Streckzwirnmaschinen (Abbildung 1) verstrecken und zwirnen synthetische Endlosfäden, z. B. aus Polyamid oder Polyester, von der feinsten Strumpfseide bis zum stärksten Reifenkord. Eine Maschine verarbeitet im Dreischichtenbetrieb gleichzeitig 160 Fäden bei Geschwindigkeiten bis 1200 m/min. Die Maschinen stehen in einem chemischen, nicht in einem Textilbetrieb.

Abbildung 2 zeigt den Streckzwirnprozess einer einzelnen Arbeitsstelle schematisch. Das Ausgangsmaterial – der aus der Polymerschmelze durch eine viellöchrige Düse gesponnene Faden – wird in Form einer zylindrischen Spinnspule vorgelegt. Zwischen dem langsam laufenden Lieferwerk und der schneller laufenden Streckrolle wird der Faden auf die 3- bis 5fache Länge plastisch verstreckt, nicht um den Faden feiner zu spinnen, sondern um ihm die geforderte Festigkeit und Elastizität zu geben. Die Zwirnvorrichtung entspricht derjenigen an Ringzwirnmaschinen: Ein Läufer gleitet, gezogen durch den Faden, auf dem Zwirnring und sorgt zusammen mit der rotierenden Spindel für Aufspulung und Zwirnerteilung. Die vertikale Bewegung des Rings verteilt den Faden gleichmässig nach Programm. Alle 160 Streckzwirnstellen werden durch Längswellen vom Antriebskopf gemeinsam angetrieben.

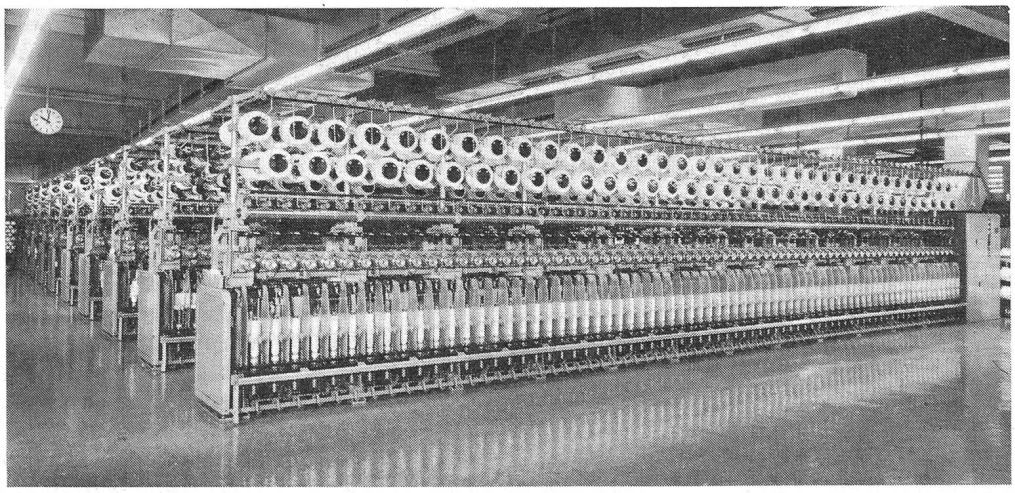

Abb. 1 Rieter-Streckzwirnmaschine Typ J5/10

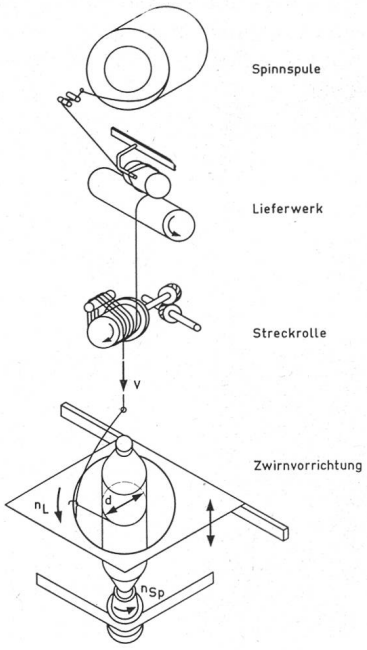

Abb. 2 Streckzwirnprozessschema

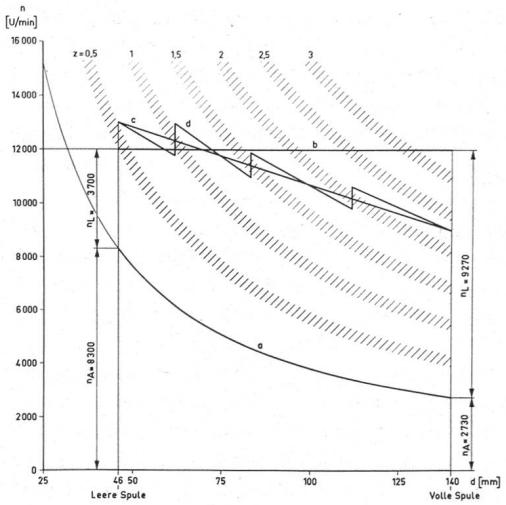

Abb. 3 Drehzahlen an der Zwirnvorrichtung in Funktion des Aufwickeldurchmessers d

2. Variable Spindeldrehzahl

2.1 Technologie des Ringzwirnens bei hoher Fadengeschwindigkeit

Beim Streckzwirnen werden besondere Forderungen und Betriebsbedingungen an die Zwirnvorrichtung gestellt. Die Hauptaufgabe ist das Aufspulen des mit hoher konstanter Geschwindigkeit v gelieferten Fadens in Form einer möglichst schweren, verkaufsfertigen Packung. Dabei wird der Faden nur ganz schwach gezwirnt. Der sogenannte Schutzzwirn ist erwünscht für den guten Fadenschluss des Fibrillenbündels. Für die Festigkeit ist der Zwirn nicht von Bedeutung, da die Fibrillen endlos und von sehr hoher Gleichmässigkeit sind.

Die Ringzwirnvorrichtung ist wohl der einfachste und kleinste Apparat, um mit konstanter Geschwindigkeit gelieferten Faden aufzuspulen. Sie hat sich deshalb für diesen Anwendungsfall gegenüber den Kreuzspulmaschinen gut behauptet. Bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten und grossen Spulenformaten treten jedoch Schwierigkeiten auf. Das folgende Beispiel zeigt dies deutlich:

Abbildung 3, Kurve a, zeigt die bei stillstehendem Läufer theoretisch benötigte Spindeldrehzahl n_A für das Aufspulen der Fadengeschwindigkeit $v = 1200$ m/min in Abhängigkeit des zeitlich anwachsenden Aufwickeldurchmessers d. Im praktischen Betrieb muss eine minimale Läuferdrehzahl n_L von z. B. 3700 U/min vorhanden sein, um den Ballon stabil zu erhalten und eine genügende Fadenspannung sicherzustellen. Dies erfordert bei leerer Spule eine Spindeldrehzahl von 12 000 U/min, da: $n_{Sp} = n_A + n_L$ (Abbildung 3, Gerade b).

Die Differenz zwischen den Kurven a und b zeigt, dass die Läuferdrehzahl mit zunehmendem Aufwickeldurchmesser stark zunimmt; die Gleitgeschwindigkeit des Läufers auf dem 6''-Zwirnring steigt von 30 bei leerer Spule auf 74 m/s bei voller Spule. Bei vernachlässigbar kleiner Fadengeschwindigkeit und 12 000 Spindelumdrehungen/min wäre die Gleitgeschwindigkeit sogar 96 m/s. Selbst 74 m/s sind heute produktionsmässig nicht möglich, weil der Stahlläufer durch die Reibungswärme ausgeglüht wird und die hohe Gleitreibung am Ende des Spulenaufbaus zu hohe Fadenspannung verursacht. Auch die im Beispiel gewählte Spindeldrehzahl von 12 000 U/min ist für die heutigen Spindellagerungen beim vollen Spulengewicht von 3,5 kg nicht zulässig. Die hohe Produktionsgeschwindigkeit ist deshalb nur möglich, wenn die Spindeldrehzahl nach Abbildung 3 entlang der Kurve c während des Spulenaufbaus abgesenkt wird. Die Läufergeschwindigkeit steigt in diesem Fall im ersten Viertel der Laufzeit von 37 auf ca. 50 m/s und bleibt dann fast konstant; der Fadenspannungsverlauf wird günstig; die Spindellagerung ist nicht mehr überfordert, und der Leistungsbedarf ist stark reduziert, da der Anteil der Ventilationsverluste bei vollen Spulen sehr gross ist.

Der Zwirn t des Fadens, nachdem er über Kopf abgezogen wurde, beträgt nicht etwa

$$\frac{n_L}{v}, \text{ sondern } t = \frac{n_{Sp}}{v}$$

Er reduziert sich von 10,8 auf 7,5 Drehungen/m.

Da der Zusammenhalt des Fibrillenbündels auch mit Verkleben und Verflechten erreicht werden kann, wird dieser sehr niedere Zwirn akzeptiert.

Die Ringbank wird mit einer hydraulischen Steuerung auf und ab bewegt. Sie sorgt für die gleichmässige Verteilung des aufgespulten Fadens. Im Vergleich zur Fadengeschwindigkeit ist die Hubbewegung der schweren Ringbank sehr langsam, nur ca. 1 – 2 ‰. Der Faden wird deshalb in sehr engen Schraubenwindungen aufgespult, deren Steigungshöhe oft kleiner ist als der Fadendurchmesser. Die Fadenlagen verklemmen sich gegenseitig; das Abspulen bei der Weiterverarbeitung ist erschwert.

Um eine bessere Verkreuzung der Fadenlagen zu erreichen, werden die Ringe oft ca. 5° schräggestellt. In diesem Fall wird der Faden nicht als enge Schraubenlinie aufgewickelt, sondern als Sinuslinie mit sehr kleiner mittlerer Steigung. Wenn das Verhältnis zwischen Läuferdrehzahl = Sinusfrequenz und Aufspuldrehzahl = Umfangsfrequenz nahezu ganzzahlig oder auch halbzahlig ist, entstehen störende Bilder, wie sie in Abbildung 4 für das Verhältnis z = 0,85 bis 1,15 zeichnerisch dargestellt sind. Zwischen z = 0,95 bis z = 1,05 ist überhaupt keine Verkreuzung der Fäden da; bei 0,95 und 1,05 ist zudem die Fadenverteilung sehr schlecht; es entstehen schraubenlinienförmige Wülste, die zu Ablaufstörun-

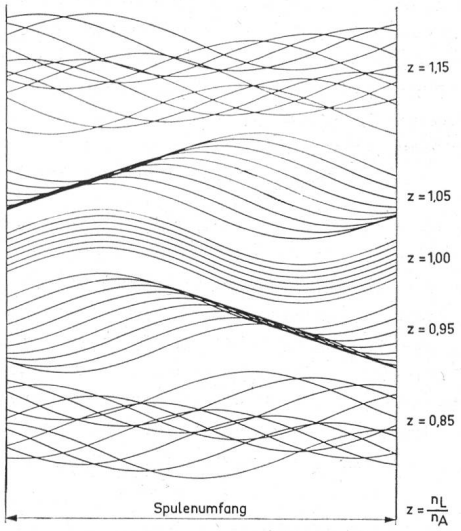

Abb. 4 Fadenbilder mit schräggestelltem Ring

gen führen. Diese kritischen Zonen lassen sich rechnerisch oder mit Stroboskopbeobachtung ermitteln. Sie wurden in Abbildung 3 als schraffierte Zonen eingetragen. Entlang Kurve b gelangen wir sechsmal in kritische Zonen, entlang Kurve c nur dreimal. Diese Wülste können sich nicht bilden, wenn wir mit dem Spindelantrieb mit maximaler Beschleunigung entsprechend Abbildung 3, Kurve d, durch diese Zonen durchfahren.

Die kritischen Zonen entsprechen den Spiegeln beim Kreuzspulen mit sogenannt «wilder Wicklung». Wir ändern zur Bildstörung auch die Frequenz des Fadenführers, nämlich die vertikale Sinusschwingung des Läufers. Leider müssen wir dazu nicht nur den leichten Läufer beschleunigen, sondern auch die schweren Spindeln und Spulen, die ja über den Faden den Läufer schleppen. Aus Leistungsgründen ist deshalb eine Bildstörung mit rascher, andauernder Drehzahlvariation, wie man sie bei Spulmaschinen kennt, nicht möglich.

Wir benötigen also zur Produktionssteigerung, Qualitätsverbesserung und Reduktion des Leistungsbedarfs einen Spindeldrehzahlverlauf nach Abbildung 3, Sägezahnkurve d, wobei die Form der Kurve und der zeitliche Ablauf von Liefergeschwindigkeit, Spulenformat, Fadenfeinheit und weiteren Variablen abhängt.

2.2 Die technische Lösung des Antriebsproblems

Für konstante Spindeldrehzahl treibt ein Käfigankermotor Spindeln und Streckwerk, die über Getriebe starr verbunden sind. Für variable Spindeldrehzahl standen uns folgende Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Antrieb der Maschine durch einen Käfigankermotor, wobei ein mechanisches oder hydrostatisches Variatorgetriebe zwischen konstant laufendem Streckwerk und variablen Spindeln verbindet.
- Antrieb mit zwei Motoren, wobei die Spindeln durch einen Drehstrom-Nebenschluss-Kommutatormotor oder durch einen Gleichstrommotor angetrieben werden, mit Ward-Leonhard- oder Thyristorsatz.

Der Zweimotorenantrieb gibt uns die Möglichkeit, das Streckwerk mit geringer Zeitverzögerung ohne Kupplungen zu starten. Diese Massnahme reduziert die Anfahrfadenbrüche.

Der Kommutatormotor war zu voluminös, und für die separate Aufstellung der Ward-Leonhard-Gruppe stand kein Platz zur Verfügung. Wir entschlossen uns deshalb für einen Gleichstromantrieb mit Thyristorspeisung, was vor 4 Jahren für Textilmaschinen eine neuartige Lösung war. Das Streckwerk wird nach wie vor von einem Käfigankermotor angetrieben. In Abbildung 5 ist der Antrieb schematisch vereinfacht dargestellt.

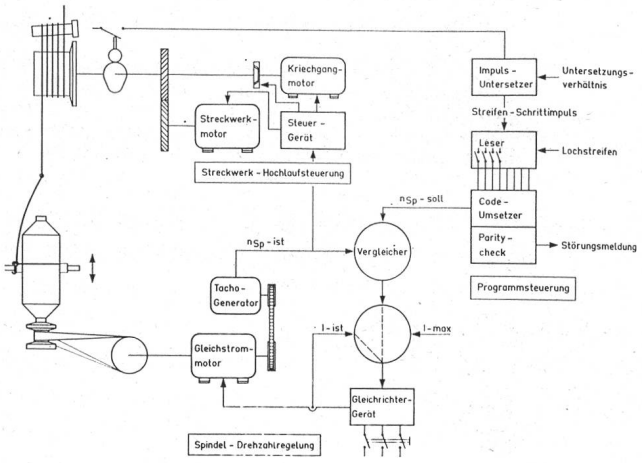

Abb. 5 Antriebsschema variable Spindeldrehzahl

Im Gleichrichtergerät wird der Dreiphasenwechselstrom mittels gesteuerten Halbleitern direkt in einen variablen Gleichstrom umgewandelt, zur Speisung des Motorankers. Die Erregung des Motorfeldes erfolgt mit konstantem Gleichstrom. Die Maximalleistung des Gleichrichtergerätes beträgt 40 kW, die Nennleistung des Motors jedoch nur 25 kW. Diese Kombination ist sinnvoll, weil der Motor nur kurzzeitig zum Beschleunigen mit 40 kW belastet wird. Der Gleichstrommotor treibt über eine 15 m lange Welle sämtliche 160 Spindeln. Der Gleichspannungs-Tachogenerator konnte aus Platzgründen nicht direkt auf der Nichtantriebsseite des Motors angekuppelt werden. Er sitzt auf dem Motor und wird durch einen schlupffreien Zahnriemen angetrieben. Dieser Antrieb muss sehr zuverlässig arbeiten, denn bei Ausfall des Riementriebes ist der Regelkreis unterbrochen, so dass der Antrieb ungeregelt auf 14 000 Spindelumdrehungen/min hochläuft, was bei vollen Spulen zu Maschinenschaden führen kann. Der Tachogenerator liefert den Drehzahl-Istwert zum Vergleicher. Die Differenz zwischen Ist- und Sollwert wird verstärkt und regelt das Gleichrichtergerät. Zum Schutz von Gerät und Motor ist ein Strombegrenzer vorgesehen. Der abgegebene Strom wird gemessen und mit dem eingestellten Grenzwert I-max verglichen. So lange I-ist kleiner ist als I-max, gelangt die Stellgrösse direkt zum Leistungsverstärker. Sobald am Ausgang des Gleichrichtergerätes I-max erreicht wird, sorgt der Stromregelkreis für die Begrenzung des Ankerstroms. Der Antrieb beschleunigt so immer mit dem Drehmoment, das I-max entspricht. Für den Betrieb ist diese Schutzvorrichtung wichtig, da der Drehzahlsollwert – wie wir noch sehen werden – treppenartig verläuft.

Bei Drehrichtungswechsel werden Tachogeber und Erregerwicklung des Gleichstrommotors umgepolt; die Wirkungsrichtung im Regelkreis bleibt natürlich dieselbe. Der beschriebene geregelte Gleichstromantrieb wird von der Maschinenfabrik Oerlikon für uns gebaut. Er besteht aus Standardelementen, die teilweise dem besonderen Anwendungsfall angepasst wurden.

Abbildung 6 zeigt das Regel- und Gleichrichtergerät der Maschinenfabrik Oerlikon. Es ist zur Wartung ausziehbar,

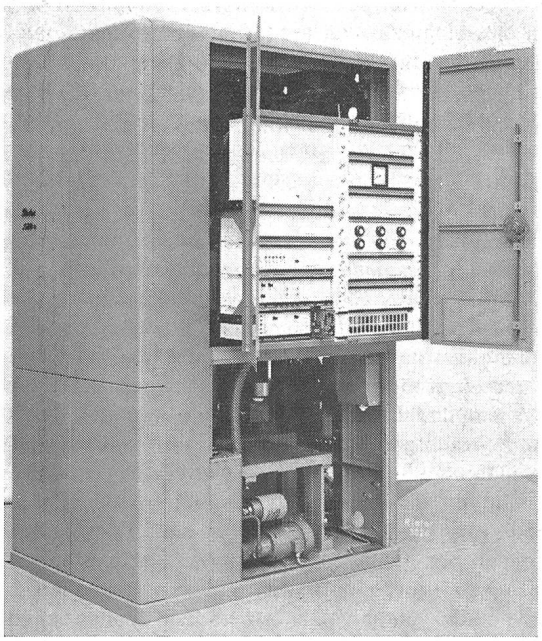

Abb. 6 Regel- und Gleichrichtergerät der Maschinenfabrik Oerlikon

hinten mit Vielfachsteckdosen versehen, und die einzelnen Steuer- und Regeleinschübe sind steckbar. Mehrere Kontrollampen und Messanschlüsse erleichtern die Störungssuche.

Die Programmsteuerung liefert den Drehzahlsollwert, welcher das Ende der im folgenden beschriebenen Steuerkette ist: Ein Impulsgeber gibt – angetrieben durch die Streckrollenwelle – Impulse ab, deren Frequenz genau proportional zur Fadengeschwindigkeit ist. Im Impulsuntersetzer werden diese Impulse gezählt, und nach Erreichen des eingestellten Wertes wird ein Schrittschaltimpuls an den Lochstreifenleser gegeben. Die mittlere Vorschubgeschwindigkeit des Lochstreifens ist deshalb genau synchron zur Fadengeschwindigkeit. Das Untersetzungsverhältnis des Untersetzers ist sehr feinstufig einstellbar – im Bereich 1:99 – und lässt sich, wenn nötig, mühelos erweitern. Mit mechanischen Mitteln wäre diese Aufgabe kaum vernünftig lösbar.

Der ein Zoll breite Lochstreifen mit acht Lochbahnen trägt das Drehzahlprogramm. Sieben Bahnen tragen die gewünschte Drehzahl in binärer Codierung, so dass Spindeldrehzahlen von 2100 bis 13 500 in Stufen von 100 U/min codiert werden können. Die übrigbleibende achte Bahn prüft die Funktion des Lesers. Wird für die Drehzahlcodierung eine ungerade Zahl Löcher benötigt, bleibt die Kontrollbahn ungestanzt, wird jedoch eine gerade Zahl benötigt, wird die Kontrollbahn gestanzt. So ist die Lochzahl aller acht Bahnen zusammen immer ungerade 1, 3, 5 oder 7. Der sogenannte «Parity-Check» kontrolliert die vom Leser gegebenen Informationen und gibt Störungssignal, sobald eine gradzahlige Lochzahl gelesen wird. Entweder liest dann der Leser falsch oder der Lochstreifen ist falsch programmiert.

Wir verwenden einen einfachen Leser, der den Streifen mechanisch abtastet. Er genügt vollkommen, da er nur ca. 20 Zeichen pro Stunde zu lesen hat. Die Streifen lassen sich im Briefumschlag ohne Zollformalitäten versenden, sind billig und wegen des langsamen Durchlaufes sehr dauerhaft. Beim Einschalten des Hauptschalters und bei jedem Stillstand der Maschine wird der endlose Lochstreifen automatisch vorwärts in die Ausgangsstellung gebracht, so dass nach dem Einlegen keinerlei Bedienung mehr erforderlich ist. Früher verwendeten wir als Programmträger Blechschablonen, die mechanisch abgetastet wurden. Das entsprechende Programmgerät war zwar viel einfacher, aber die Beschaffung der Blechschablonen wir immer zu langsam und teuer. Die Lochstreifen werden in den meisten Fällen von unseren Kunden selbst hergestellt. Der Code-Umsetzer addiert auf Grund der binären Lochung die Gleichspannung, die dem Drehzahlsollwert entspricht.

Da die Maschine mit aufgelegten Fäden hochläuft und abgebremst wird, sind bei Zweimotorenantrieb besondere Anforderungen zu stellen. Es war zuerst naheliegend, einen synchronen Hochlauf zu verwirklichen, wie er sich bei mechanisch gekuppeltem Antrieb bewährt hatte. Die Synchronisierung gelang einwandfrei, jedoch war der Aufwand für die Regelung recht gross. Da die Hochlaufzeit des Gleichstromantriebes für die Spindeln viel länger ist als die Hochlaufzeit des Käfigankermotors für das Streckwerk, musste die Beschleunigung des Streckwerkes mit einer geregelten Kupplung reduziert und konstant gehalten werden. Der während des Hochlaufes mit reduzierter Geschwindigkeit verstreckte Faden muss separat auf die Spindel aufgespult werden. Dieser Faden ist von schlechter Qualität und geht in den Abfall. Unseren Steuerungsspezialisten gelang es, ein Hochlauf- und Auslaufprogramm zu entwickeln, das die Abfallmenge drastisch reduzierte und sich sehr einfach verwirklichen liess. In Abbildung 7 ist der Programmablauf graphisch dargestellt. Der Spindelantrieb beschleunigt entsprechend der Maximalleistung des Gleichstromgerätes. Das Streckwerk liefert den Faden mit Kriechganggeschwindigkeit, so dass der Faden nicht überzwirnt wird. Hat die Spindeldrehzahl den vorgewählten Wert n_1 erreicht, startet die Hochlaufsteuerung den Streckwerkmotor. Er beschleunigt das Streckwerk sehr rasch; gleichzeitig löst die Kupplung des Kriechgangantriebes. Der Wert n_1 wird so gewählt, dass Streckwerk und Spindeln die Produktionsgeschwindigkeit gleichzeitig erreichen. Die Abfallmenge ist das Zeitintegral der Liefergeschwindigkeit. Sie konnte von der einfachschraffierten Dreiecksfläche bei synchronem Hochlauf auf die gekreuzt schraffierte Fläche reduziert werden. Die Auslaufsteuerung ist sehr ähnlich.

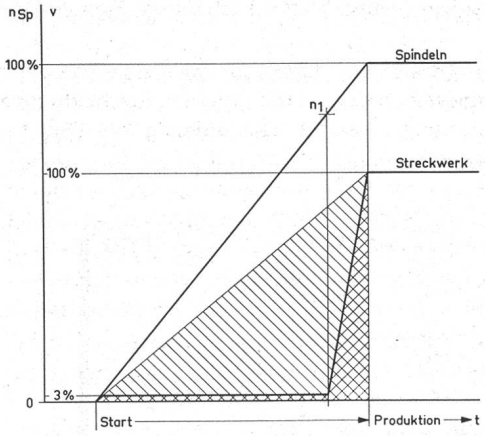

Abb. 7 Hochlaufprogramm

Das Beispiel zeigt, dass oft technologische Verbesserungen vom Steuerungsspezialisten gefunden werden, sofern er über die Maschine und den Prozess genau im Bilde ist, und dass eine einfache, wohldurchdachte Steuerung einer aufwendigen Regelung überlegen sein kann.

Sie fragen sich vielleicht, warum man nicht, anstatt das Drehzahlprogramm umständlich zu berechnen und über einen Lochstreifen einzugeben, entweder die Läuferdrehzahl oder die Fadenspannung misst und diese direkt als Regelgrösse verwendet. Das geht nicht, weil der Antrieb für 160 Arbeitspositionen gemeinsam ist. Wenn der Faden an der Mess-

position ausfallen würde, wäre der Regelkreis unterbrochen. Der Faden selbst darf deshalb weder an Steuerungen noch an Regelungen der Maschine beteiligt sein.

Die Ringbank wird mit Hilfe einer elektrohydraulischen Steuerung nach Programm auf und ab bewegt. Schablonen steuern über Endschalter die Lage der Umkehrpunkte gesetzmässig so, dass selbsttragende Böschungen entstehen. Randspulen sind bei feinen Fäden ungeeignet. Je nach den eingesetzten Schablonen entstehen unterschiedliche Spulenformen. Noch vor 10 Jahren bestand die elektrische Steuerung der Maschine aus einem Schalter für den Hauptmotor; alle übrigen Elemente wurden mechanisch angetrieben oder von Hand betätigt bzw. zurückgestellt. Heute wechselt das Bedienungspersonal nur noch die Spulen, fädelt neu ein bei Fadenbruch und drückt den Startknopf – alles andere ist automatisiert.

3. Vorrichtungen zum Heissverstrecken

3.1 Allgemeines

Einige synthetische Fadenmaterialien lassen sich nur bei erhöhter Temperatur (80 – 220 °C) verarbeiten. In den meisten Fällen wird die Wärme durch Kontakt auf den Faden übertragen. Der Faden gleitet dabei über einen schwach gewölbten Plattenheizkörper, oder die Streckrollen selbst werden von ihnen beheizt.

3.2 Die elektrischen Plattenheizer und deren Temperaturkontrolle

Am Anfang der Entwicklung begnügte man sich mit einer einfachen Leistungssteuerung. Man führte der Heizplatte eine konstante Heizleistung in der Grössenordnung 200 Watt zu,

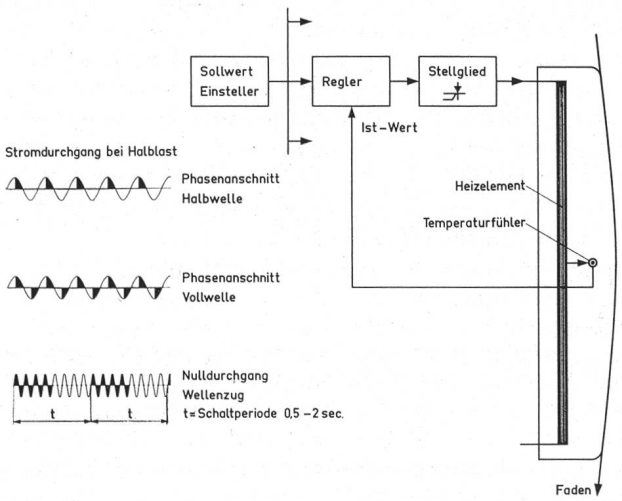

Abb. 8 Elektronische Temperaturregelung

und die Plattentemperatur stellte sich so ein, dass die durch die Konvektionsverluste und den Faden abgeführte Energie gleich der zugeführten war. Bei konstanten Betriebsbedingungen wurde nach 1 – 2 Stunden eine konstante Temperatur erreicht. Bei Fadenbruch stieg die Plattentemperatur aber rasch sehr hoch, weil die Energieabfuhr des Fadens ausfiel. Vor dem Wiederauflegen des Fadens musste man die überhitzte Platte mit einem nassen Lappen abkühlen, sonst wäre der Faden geschmolzen. Unkontrollierbare Luftströmungen verursachten ungleiche Konvektionsverluste und damit Temperaturdifferenzen von Streckstelle zu Streckstelle. Schon bald wurden Einzelregler für jede Platte eingeführt. In die Platten eingebaute Bimetallschalter bewährten sich nicht, da bei der hohen Schalthäufigkeit die Kontaktlebensdauer nicht genügte. Heute werden durchwegs elektronische Regler eingesetzt. In Abbildung 8 ist die Temperaturregelung schematisch dargestellt. Der Temperaturfühler – ein Thermistor oder ein Platinwiderstand – ist nahe der Fadenlaufbahn in die Heizplatte eingebaut; er gibt den Istwert. Der Sollwert wird gemeinsam einstellbar für alle Platten einer Maschine gegeben. Der Regler vergleicht die Werte, verstärkt die Abweichung und steuert entsprechend das Stellglied an. Die Heizleistung, die der Platte zugeführt wird, ist proportional zur Temperaturabweichung. Der Proportionalbereich wird je nach Plattenkonstruktion und Leistungsbedarf auf ca. 2 – 10 °C eingestellt.

Die Heizleistung wird meist mittels Phasenanschnittsteuerung in Halb- oder vorzugsweise Vollwellenschaltung verändert. Wenn in einem Betrieb viele Maschinen mit solchen Heizungen ausgerüstet sind und zudem noch thyristorgespeiste Gleichstromantriebe haben, wird durch die Phasenanschnittsteuerung der Sinus des Wechselstromnetzes so stark verändert, dass empfindliche Messinstrumente und der Radioempfang in der Nähe gestört werden. Man verwendet deshalb auch die Nulldurchgangssteuerung, wobei der Wechselstrom bei Nulldurchgang ein- und ausgeschaltet wird mit einer Schaltperiode von 0,5–2 sec. Bei Halblast sind Ein- und Ausschaltzeit gleich der halben Schaltperiode. Hier besteht die Gefahr, dass eine grössere Anzahl Regler in den gleichen Takt fallen; die Rückwirkung aufs Netz ist dann ebenso schädlich. Das Problem erinnert sehr stark an Webstühle, die von Zeit zu Zeit in den gleichen Takt fallen und so gemeinsam beträchtliche Gebäudeschwingungen verursachen können.

Die zugeführte Energie heizt die Platte, die als Speicherglied wirkt. Die Temperatur wird bei einer Störung, z. B. Fadenauflegen, rasch ausgeregelt, wenn die Platte leicht ist und aus Material mit niedriger spezifischer Wärme hergestellt ist. Zudem soll die Distanz zwischen Heizelement und Temperaturfühler klein sein und das Plattenmaterial eine gute Wärmeleitfähigkeit haben. Diese Bedingungen können zusammengefasst werden in der Forderung: die Platte soll dünn und aus Material mit hoher Temperaturleitzahl hergestellt sein. Die Temperaturleitzahl berechnet sich nach:

$$\text{Temperaturleitzahl } a \left(\frac{m^2}{h}\right) = \frac{\lambda \text{ (Wärmeleitzahl)}}{c \text{ (spez. Wärme) } \gamma \text{ (spez. Gewicht)}}$$

Selbstverständlich ist es ebenso wichtig, dass der Fühler auch mit der Platte guten wärmeleitenden Kontakt hat.

Die Regelung kann nur für konstante Temperatur am Messpunkt selbst sorgen. Daneben stellen sich oft sehr abweichende Temperaturen ein. Sehen wir uns das Temperaturlängsprofil einer sehr leichten, rasch ausregelnden Platte an (Abbildung 9):

Kurve a zeigt das Temperaturprofil ohne Faden, wie es sich unter dem Einfluss der Konvektionsverluste einstellt. Die Ver-

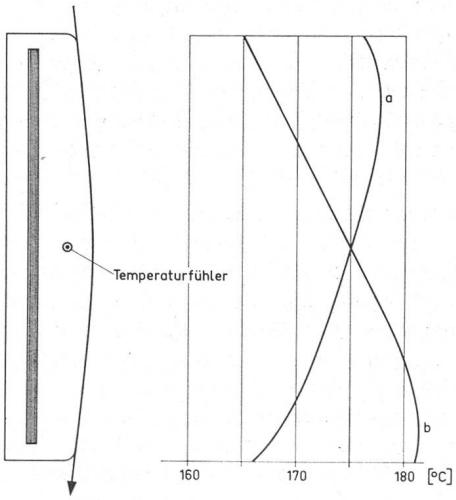

Abb. 9 Temperatur-Längsprofil an Plattenheizer

luste sind unten und an beiden Enden grösser, unter dem Einfluss der Luftströmung von unten nach oben.

Kurve b stellt das Temperaturprofil mit Faden dar. Um die Temperatur im Messpunkt konstant zu halten, führt der Regler, wenn der Faden aufgelegt wird, gleichmässig über die Länge verteilt mehr Energie zu. Im oberen Teil genügt sie nicht, weil der kalte Faden sehr viel mehr wegführt. Im unteren Teil ist der Faden schon heiss; der Faden nimmt nur noch sehr wenig auf, und die Platte überheizt. Das Profil kann in beiden Fällen ausgeglichen werden, wenn eine dicke Platte verwendet wird, was aber im Widerspruch steht zu den Forderungen, die gestellt wurden, um bei Störungen eine kurze Ausregelzeit zu erreichen. Ein Kompromiss bringt die beste Lösung; für dünne Fäden werden heute leichte Platten, für dicke Fäden schwere Heizblöcke aus Aluminiumlegierungen verwendet, wobei die Leistung auch entsprechend gewählt wird. Für sehr lange Platten käme eine Unterteilung in mehrere Zonen, die einzeln geregelt würden, in Frage.

Eine Regelung der Fadentemperatur selbst ist auch hier nicht möglich, da bei Fadenbruch der Regelkreis unterbrochen wäre. Zudem ist es ausserordentlich schwierig, die Temperatur des laufenden Fadens zu messen.

Die Temperatur der Platten wird nicht nur einzeln geregelt, sondern auch mit Hilfe von automatischen «Scannern» überwacht, die Alarm geben, sobald eine Platte ausserhalb der eingestellten Toleranzgrenze liegt. Dieser Kontrollaufwand ist nötig, weil ein fehlerhaft verstreckter Faden eine ganze Webkette unbrauchbar machen kann. Der Fehler wird meistens erst sichtbar, wenn das Gewebe gefärbt wird und der unter falschen Bedingungen verstreckte Faden verschieden anfärbt.

An einer Polyester-Streckzwirnmaschine kommen 300 – 450 Regler samt zugehöriger Temperaturüberwachung für Rollen und Plattenheizer zum Einsatz. Dies ist wohl die dichteste Konzentration von elektronischen Leistungsreglern, und viele namhafte Elektronikfirmen befassen sich mit dem Bau solcher Ausrüstungen.

Die steckbaren Regler kleiner Leistung werden oft in einem Block, kaum grösser als eine Zigarettenschachtel, vergossen. Regler grösserer Leistung haben einen getrennten, gutgekühlten Leistungsteil. Abbildung 10 zeigt zwei Reglereinschübe der Firma Dienes, Mühlheim am Main.

3.3 Elektrische Streckrollenheizung

Die Rollenheizung hat den Vorteil, dass der Faden ohne schädliche gleitende Reibung in Kontakt mit der Heizoberfläche kommt. Eine lange Verweilzeit lässt sich sehr einfach mit einer grossen Anzahl Rollenumschlingungen erreichen, ohne dass die Maschine sehr hoch wird, wie es bei langen Plattenheizern der Fall ist.

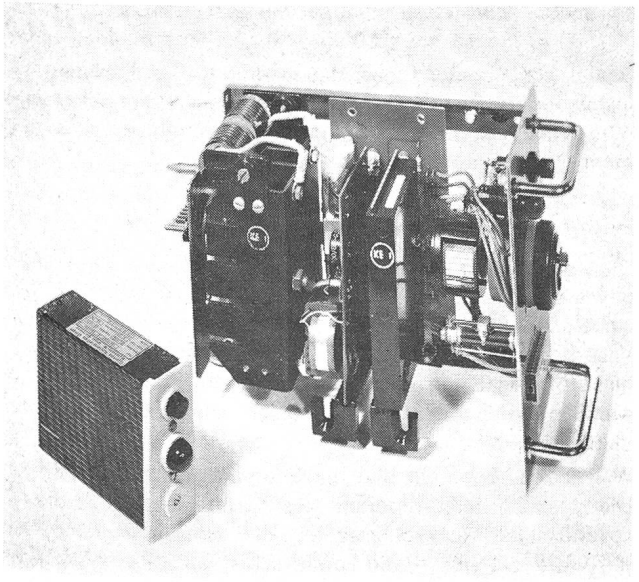

Abb. 10 Zwei Reglereinschübe der Firma Dienes, Mühlheim am Main

Die Heizleistung kann auf sehr verschiedene Arten der rotierenden Streckrolle zugeführt werden:

1. Schleifringe übertragen die Leistung zu einem mitrotierenden Widerstandsheizkörper.
2. Mit Konvektion wird die Heizleistung von einem stillstehenden Widerstandsheizkörper über einen engen Luftspalt an die rotierende Rolle übertragen.
3. Die Temperaturstrahlung eines stationären Hochtemperaturheizkörpers überträgt die Leistung an die geschwärzte Rolleninnenwand.
4. Die Induktion einer stillstehenden Wicklung erzeugt einen sehr hohen Kurzschlussstrom im Rollenmantel. Der Rollenmantel selbst ist der Widerstandsheizer.

Alle vier Prinzipien sind heute in Gebrauch.

Die Strahlungsheizung und die Induktionsheizung sind geeignet für hohe Leistungsdichten, wie sie die raschlaufenden Maschinen heute erfordern. Bei geeigneter Bauart der stationären Induktorwicklung und der Rolle werden gute Resultate schon mit Netzfrequenz erreicht. Die hohen Umformerkosten für Mittel- oder Hochfrequenz fallen somit weg.

Bei Induktionsheizung ist die beheizte Masse klein, die Rollentemperatur reagiert deshalb sehr rasch. Um so wichtiger ist es, dafür zu sorgen, dass auch der Temperaturfühler die Rollentemperatur rasch und genau annimmt. Ein in der Rolle eingebauter mitrotierender Fühler ist in dieser Beziehung sehr günstig, erfordert jedoch einen komplizierten Messwertübertrager, da der Regler stillsteht. Ein stationärer Fühler im Luftspalt zwischen Induktor und Rolle ist einfach. Er gibt gute Resultate, sofern er nur von der rasch laufenden Rolle konvektiv beheizt wird, gegen die Induktorseite dagegen gut abgeschirmt ist.

Die Streckrollentemperatur wird für Kontrollzwecke vor allem im Labor auch mit Infrarot-Strahlungsmessgeräten ermittelt. Für die dauernde Regelung auf einer Produktionsmaschine wäre der Aufwand jedoch zu gross, und wegen des sehr tiefen Emissionsfaktors der chromglänzenden Rollen ist die Messung schwierig.

Mit den regeltechnischen Problemen eng verbunden sind thermodynamische, messtechnische und natürlich elektrische Probleme. Die Entwicklung ist noch in vollem Fluss, besonders für Rollen mit Leistungen von mehreren Kilowatt.

Adresse des Autors: Dipl.-Ing. F. Graf, c/o Maschinenfabrik Rieter A. G., CH-8406 Winterthur

SKT 117:97 Cu

Regelprobleme bei textilen Wärmebehandlungsprozessen

Obering. G. Schellenberger

Zusammenfassung

Die Arbeitsprozesse der Textilveredlung sind bis auf wenige Ausnahmen alle Wärmbehandlungsprozesse. Der Energieverbrauch für Wärmeerzeugung und Wärmeübertragung überwiegt bei weitem alle anderen Energieaufwendungen, wie etwa für Antriebe aller Art. Es ist deshalb sowohl von den Betriebskosten her gesehen als auch im Hinblick auf die