

Lagenverschiebungen und Spannungsaufbau in der Nipzone zwischen Walze und Papierlagen

Einleitung

Bei der Papierherstellung und Verarbeitung entstehen Produktionsverluste beim Wickeln der maschinenbreiten Papierrollen und den Fertiggerollen durch Wickelfehler. Beim Wickelvorgang ist mindestens eine Walze (Stahl oder gummiert) in Kontakt mit dem Wickel und erzeugt eine Nipzone, in der Spannungen induziert und Lagenverschiebungen erzeugt werden. Der Vorgang in der Nipzone mit mehreren Papierlagen ist nicht genau bekannt.

Es wurden Basismodelle erstellt und der Vorgang der Verformung in der Nipzone, der Lagenverschiebung und dem Spannungsaufbau theoretisch und experimentell an einem Stapel mit 500 Lagen LWC-Tiefdruckpapier untersucht und auf den Wickelvorgang übertragen. Die Versuche wurden mit einer Stahlwalze und teilweise mit einer gummierten Walze durchgeführt.

1. Experimentelle und theoretische Ergebnisse am Stapel

Die Verformung am Papierstapel und am Wickel zur Bestimmung eines E-Moduls ergab theoretisch als Kontaktproblem einen geringeren Modul gegenüber der Kompressibilitätsmessung. Eine Messung der Druckverteilung in der Nipzone ergab eine höhere Verteilung als nach *Hertz* angenommen.

Beim losen Papierstapel führt das Abrollen einer Walze an der Oberfläche zu einer Lagenverschiebung im Stapel, die aus den geometrischen Größen der Verformung in Verbindung mit einer Haftzone berechnet wurde. Die Lagenverschiebung der ersten Lage ergibt sich aus der Summe der Verschiebungen der Einzellagen (Abb. 1).

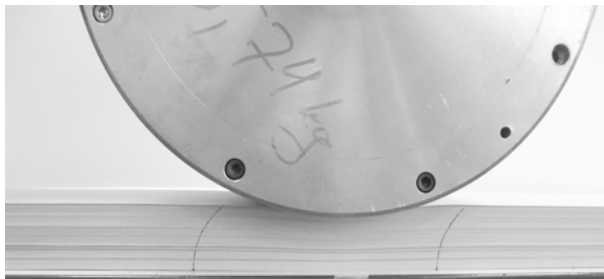


Abb. 1: Lagenverschiebung am losen Stapel

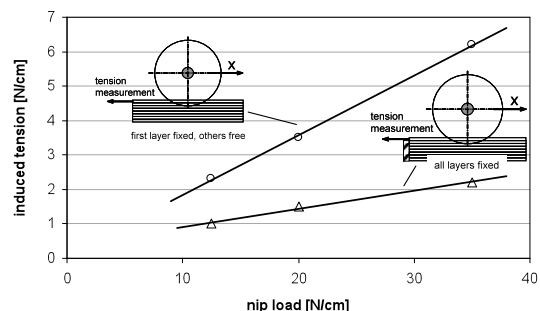


Abb. 2: Kraftmessung an der ersten Lage

Werden eine oder mehrere Lagen am Papierstapel „festgehalten“, wird beim Abrollen einer Walze eine Spannung in den Lagen erzeugt, wobei die größte Spannung in der ersten Lage auftritt. Werden alle Lagen „festgehalten“ ist der Kraftaufbau in der ersten Lage geringer (Abb. 2). Die Längenänderung bezogen auf die Verformung in der Nipzone ergab, dass nur ein Teil der Verformung in eine Spannung umgesetzt wird. Nachfolgende Lagen zeigen einen abnehmenden Kraftaufbau, wobei nach der 10. Lage keine Kräfte mehr gemessen werden. Die übertragbare Tangentialkraft wird auf die tiefer liegenden Lagen verteilt und eine Umkehr der Krafrichtung nach der 8. Lage wurde ermittelt. Die spannungsfreie 8. Lage wurde als Momentanpolebene angenommen (Abb. 3). Der Einfluss einer Vorspannung auf die Lagen ergab eine Änderung im Kraftaufbau in Abhängigkeit vom Aufsetzpunkt der Walze.

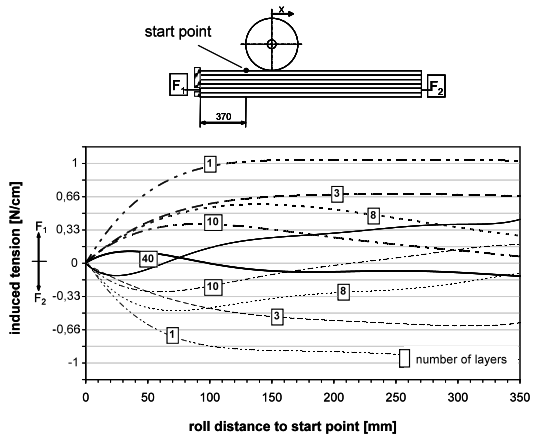
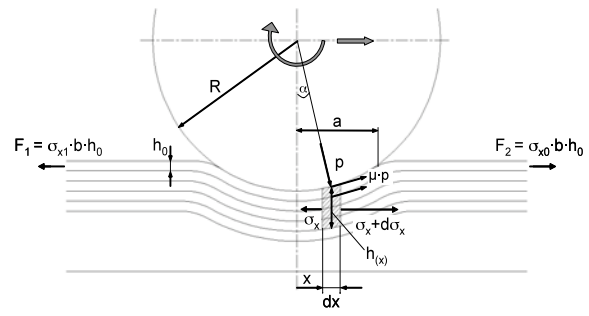


Abb. 3: Kraftmessung an unterschiedlichen Lagen



$$\frac{d}{dx} (\sigma_x \cdot h(x)) + p \cdot \sin \alpha + 2 \cdot \mu \cdot p \cdot \cos \alpha = 0$$

Abb. 4: Formänderung am Stapel und Dgl.

Der Spannungsaufbau in der Nipzone am Papierstapel wurde unter Berücksichtigung der Formänderungen mit einer Differentialgleichung nach dem Formgebungsprozess beim „Walzen von Blechen“ ermittelt (Abb. 4). Die Druckverteilung (Abb. 5) wurde gemessen und als Polynom 4. Grades berechnet. Es ergeben sich zwei Lösungen, die dort, wo sie ineinander übergehen eine Stelle relativer Ruhe haben. Die Reibschubspannungen wechseln an dieser Stelle das Vorzeichen. Beide Lösungen waren gleich bei einer Lagenanzahl von 8-10 Lagen bei einer Eindringtiefe von 25 Lagen.

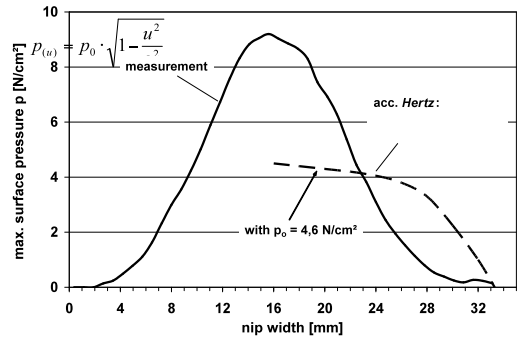


Abb. 5: Messung der Druckverteilung im Nip

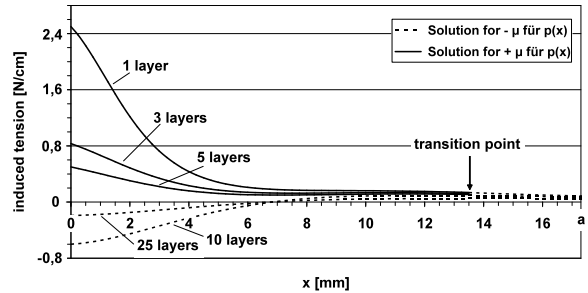


Abb. 6: Lösung für unterschiedliche Lagen

Der Verlauf der Druck- und Schubbelastung während der Walzenbewegung wurde mit zwei Piezo-Foliensensoren auf der Walzenoberfläche erfasst (Abb. 7). Es wurde dynamisch ein Drucksignal und ein Summensignal aus Druck- und Schubkräften gemessen, wobei der Schubanteil durch Differenzbildung ermittelt wurde. Die Messung am Papierstapel zeigte einen Anstieg im Schubanteil beim Eintritt in die Nipzone und erst einen Nulldurchgang in der Druckzone, wenn die Lagen „festgehalten“ werden. Bei der Kombination Walze-Wickel erfolgt beim Eintritt in die Nipzone ein steiler Anstieg im Schubanteil mit einer Umkehr, die darauf schließen lässt, dass beim Wickelvorgang ähnliche Vorgänge stattfinden wie am Stapel.

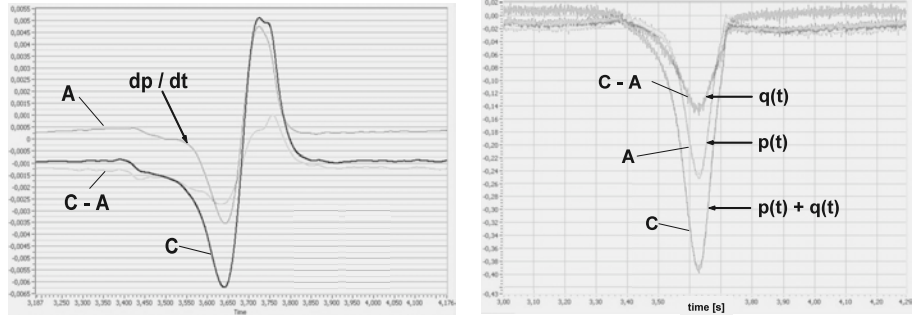


Abb. 7: Dynamische Messung der Druckverteilung (A) und der Schubkraft (C-A), (linke Seite = Rohsignal, rechte Seite = Summensignal)

2. Experimentelle und theoretische Ergebnisse am Wickel

Die Ergebnisse aus den Versuchen am Papierstapel wurden auf den Wickelvorgang übertragen. Das Eindringen der Walze in den Wickel führt zu einer Verformung am Wickel, die abhängig ist vom Wickelaufbau. Der Wickelaufbau wird gebildet durch die eingeleiteten Kräfte (Bahnzug und Linienlast), den daraus resultierenden Spannungen und der Kompressibilität des Papiers. Die Verschiebungen verlaufen beim Wickelvorgang zuerst entgegen der Laufrichtung des Wickels und führen, bezogen auf den Wickel als Spirale, zu einer Spannungserhöhung. Der Verlauf der Verschiebung einer Lage zeigt, dass nach zwei bis drei Umdrehungen des Wickels die Verschiebung entgegen der Laufrichtung an dieser Lage während einer Umdrehung zur Ruhe kommt (Abb. 8).

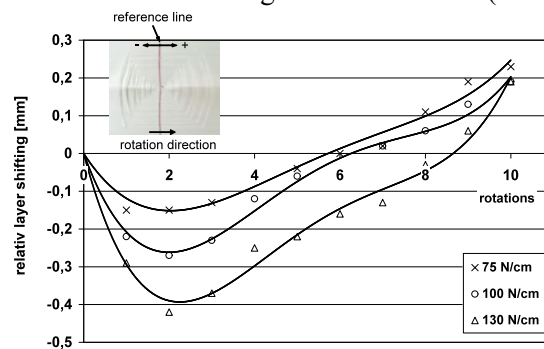
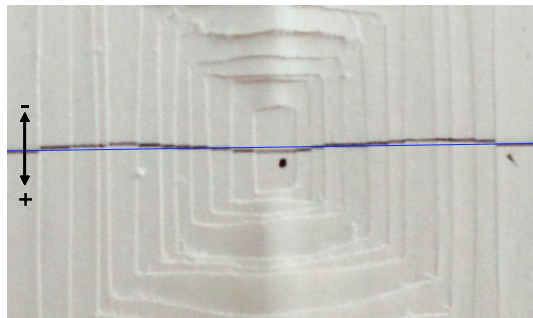


Abb. 8: Lagenverschiebung am Wickel bei Linienlast (75-130 N/cm), (+) in Laufrichtung (-) entgegen der Laufrichtung

Der Ruhezustand einer Lage während einer Umdrehung sowie die Richtungsumkehr lassen den Schluss zu, dass ein Momentanpol vorliegt (Abb. 9). Während am Papierstapel die Spannungsumkehr zu einer spannungsfreien Lage führte, bewirkt die Umkehr beim Wickel ein Spannungsmaximum. Die Umfangsgeschwindigkeit am Wickel wurde unter der Annahme einer Momentanpolbahn bestimmt. Sie ist größer als die Umfangsgeschwindigkeit der Walze.

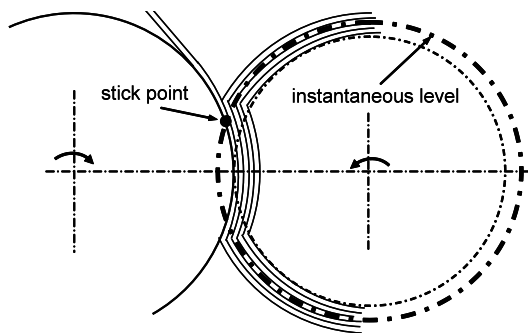


Abb. 9: Momentanpol am Wickel

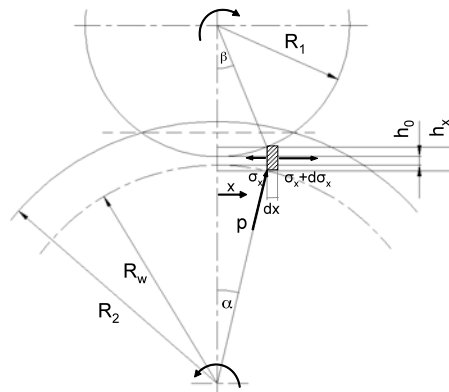


Abb. 10: Formänderung am Wickel

Für den Spannungsverlauf wurde ähnlich wie am Papierstapel eine Differentialgleichung mit den Wickelparametern erstellt (Abb. 10). Beide Lösungen ergaben einen gemeinsamen Schnittpunkt, der mit der Lage des Momentanpols übereinstimmt. Die Berechnung ergab, dass vor oder am Einlauf in die Nipzone ein Spannungsabfall vorliegt, sowohl am ankommenden Bahnzug wie an den Lagen am Wickel bis zur 3. Lage (Abb. 11). Der Mechanismus ist ähnlich wie am Papierstapel. Die Lagen oberhalb vom Momentanpol werden entgegen der Laufrichtung verschoben. Dabei wird eine Längenänderung erzeugt, die nach dem Überrollen als Spannung frei wird. Eine Messung der eingewickelten Spannung (Abb. 11) ist hilfreich in der Praxis um Wickelfehler zu vermeiden.

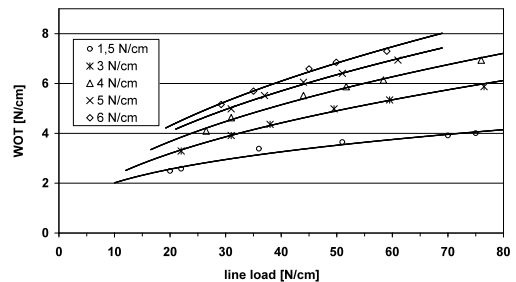
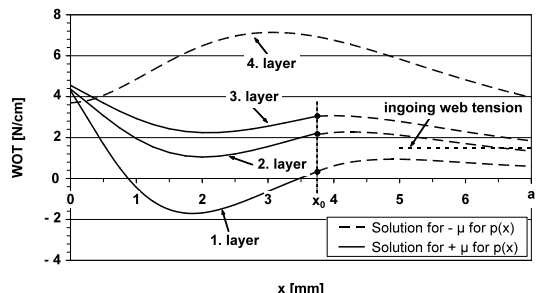


Abb. 11: Berechnung und Messung der eingewickelten Spannung (WOT = wound on tension).

Peter Hoffmann