

Information zu Modell des Kalandrierprozesses von Polymeren

1. Kalandrieren

Kalandrieren ist ein Verfahren in der Kunststoff- und Gummiindustrie, bei dem Materialien, insbesondere Kunststoffe oder Gummi, durch Walzen in dünne Schichten oder Filme verarbeitet werden. Dieser Prozess wird hauptsächlich für die Herstellung von Flachmaterialien wie Folien, Platten und Bahnen verwendet (KI).

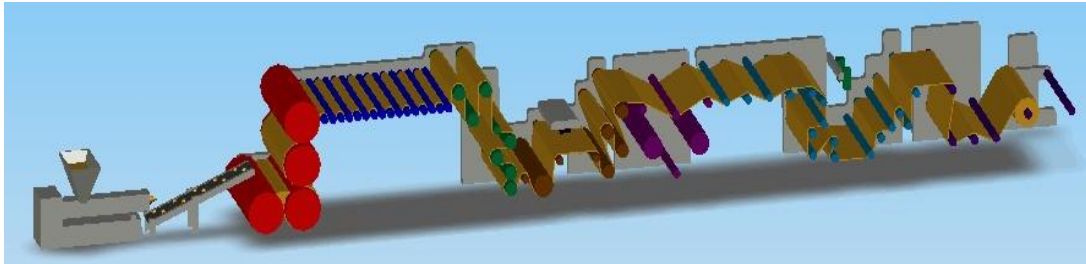


Bild 1: typische Folienkalandrieranlage mit 4-Walzen-L-Kalender

Es gibt für verschiedene Anwendungen in Verpackungs-, Bau- oder technischer Folienindustrie 3 – 5 Walzenkalandrier in I-, Z-, F- oder L-Form.

Der Prozess ist sehr vielseitig und kompliziert steuerbar:

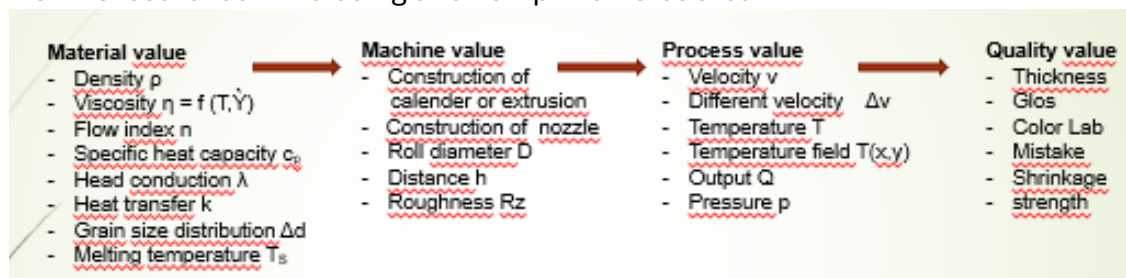


Bild 2: Einfluss- und Zielfaktoren einer Kalandrierlinie

Derzeitiger Stand der Meßtechnik bei kp

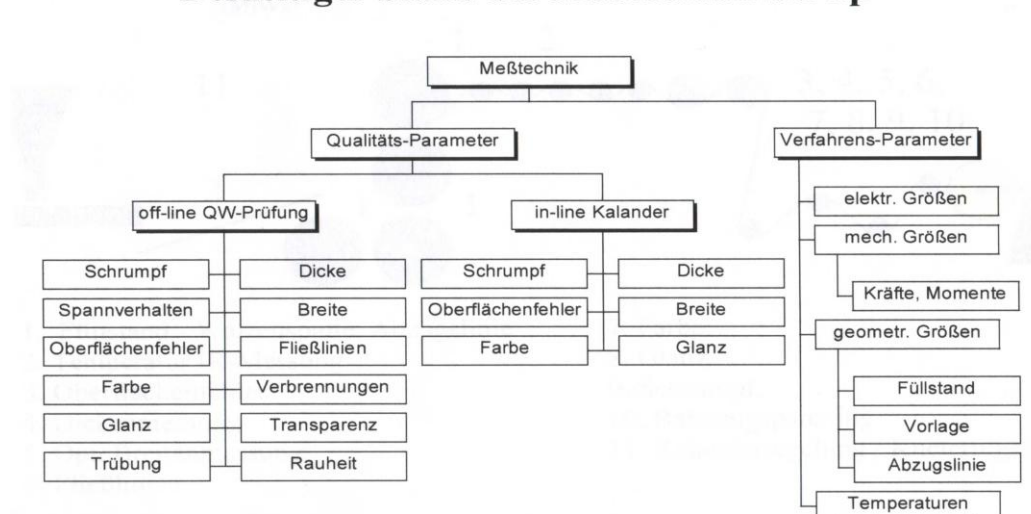


Bild 3: Messtechnische Möglichkeiten

Durch verschiedene Messtechniken kann der Prozess kontinuierlich überwacht werden.

2. Modellierung de Kalandrierprozesses

Mit Hilfe der Massenbilanz, der Impulsgleichung, der Wärmebilanz sowie der rheologischen Zustandsfunktion können Strömungslinien, Druckverläufe und Durchsätze vorherberechnet und Aussagen für zu erwartende mittlere Foliendicken, Schrumpfkkräfte, Walzenanpresskräfte und optimale Roll-Bending- und Schrägverstellungswerte getroffen werden.

Basic equations for process optimization

Equation of the conservation of mass

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) = 0$$

Equation of motion

Die Bewegungsgleichung in kartesischen Koordinaten:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} - \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)$$

Heat balance

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -(\nabla \cdot q) - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho (\nabla \cdot v) + (p : \nabla \cdot v)$$

c_v spezifische Wärme bei konstantem Volumen
 q Vektor des Wärmestromes
 $q = -k \nabla T$
 k Wärmeleitfähigkeit der Flüssigkeit

rheological state function

Bild 4: Grundgleichungen zur Berechnung polymerer Prozesse

Das ist vor allem für Prozeßoptimierungen sowie die Ausbildung neuer Kalandrierfahrer ohne Nutzung von produzierenden Kalandrieranlagen wichtig.

3. Nutzung einer VR-Brille für Optimierung der Kalandriertechnologie

Durch den Autor wurde in den letzten 10 Jahren in Zusammenarbeit mit der TU St. Petersburg unter Nutzung von Masterarbeiten und Dissertationen aus dem IT-Bereich ein Modell zur Berechnung der Strömungsprozesse in den Walzenspalten von Kalandrieranlagen erstellt, wo durch vorherige Bestimmung der Randbedingungen, der Oberflächengleiteigenschaften der Walzen, der rheologischen Zustandsfunktionen der Polymergemische sowie der Wärmeübertragungseigenschaften die für den Operator wichtigen Folieneigenschaften wie

- Mittlere kalandrierte Foliendicke
- Auskalandrierte Breite auf den einzelnen Walzen
- Zu erwartender Durchsatz
- Minimale Dickentoleranz durch Optimierung von Roll-Bending und Schrägverstellung
- Zu erwartender Folienschrumpf in Längs- und Querrichtung

vorausberechnet werden.

Das Modell ist dabei direkt auf einem Laptop nutzbar bzw. mit einer VR-Brille mit den Bildern der nutzenden Kalendarlinie wie im Produktionsprozess stehend anwendbar.



Текущий рецепт: ?????

Темп. валики 4-7

НАГРЕВ

Скорость

21,96

Задать значение

Температура

65

Задать значение

Привод	Статус	Скорость м/мин	Ток %	Факт.знач.	Задан.
Вал каландра 1	ВКЛ	13,00	34,94	178,8 °C	178,8 °C
Вал каландра 2	ВКЛ	14,33	51,59	180,4 °C	180,4 °C
Вал каландра 3	ВКЛ	16,08	38,47	196,0 °C	196,0 °C
Вал каландра 4	ВКЛ	17,53	22,33	187,9 °C	187,9 °C
Съёмн. валики 1-2	ВКЛ	20,60	7,52	90,0 °C	90,0 °C
Съёмн. валики 3-6	ВКЛ	20,63	7,47	80,0 °C	80,0 °C
Съёмн. валики 7-10	ВКЛ	21,47	8,12	75,0 °C	75,0 °C
Темп. валики 1-2	ВКЛ	21,51	10,90	79,9 °C	79,9 °C
Темп. валики 3	ВКЛ	21,34	7,39	65,0 °C	65,0 °C
Темп. валики 4-7	ВКЛ	21,54	11,20	50,0 °C	50,0 °C
Темп. валики 8-11	ВКЛ	21,96	0,44	40,0 °C	40,0 °C
Темп. валики 12-15	ВКЛ	21,66	9,10		
Зажимной валик	ВКЛ	21,57	-0,50		
Выход 1	ВКЛ	21,29	10,85		
Выход 2	ВКЛ	22,36	3,64		

Выход 1
Рег. протяжки
АВТО

Выход 2
Рег. протяжки
АВТО

Управляющий маслом

ВЫКЛ

Bild 6: Dateneingabe über VR-Brille am K2 von kp Rus



Bild 7: Darstellung der Dickenverteilung vor und nach Änderung der Prozessparameter (Aufgabe: Umstellung von 240 µm auf 300 µm)

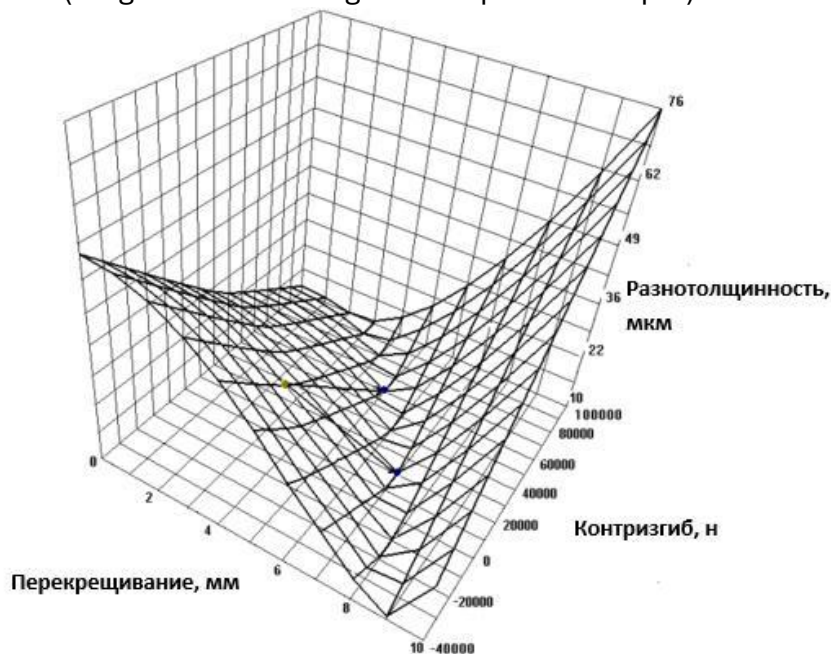


Bild 8: Optimierung von Roll-Bending und Schrägverstellung hinsichtlich minimaler Dickentoleranz

Literatur:

1. C. Kohlert, T. Chistyakova; Innovationen in der Folienindustrie
Kindle-Verlag, 2024, ISBN:978-3-00-077262-7
2. C. Kohlert, T. Chistyakova: Innovations in Film Manufacture,
Hanser-Verlag, 2026, ISBN:978-1-56990-440-4

Interessenten für mehr Informationen bzw. praktische Vorführung öffnen bitte den Link mit: strg + <https://1drv.ms/v/c/f3949eacedbf4b91/IQDIc6jYbTHRZ1-do8i0EteAf6PpagUsxSmCmp6KiFN2M?e=ezyU3>

oder melden sich bitte bei uns über

Info@kohlert-consulting.de