Papierumformung durch Ziehen

Kooperation zwischen PTS und TU Dresden erforscht seit 2012 effiziente Herstellung von 3D-Formteilen aus Papier



Der Papierkreislauf mit Sammlung, Sortierung und Wiedereinsatz in der Herstellung zu neuen Papieren sichert höchste stoffliche Recyclingquoten. Dies gilt umso mehr für den Verpackungsbereich, in dem Papiere derzeit mit über 87% stofflich wiederverwertet werden. Papier wird vom Endverbraucher als nachhaltiges und biobasiertes Verpackungsmaterial wahrgenommen, das vielseitig eingesetzt werden kann. Gleichwohl existieren bei den Verarbeitungsund Gebrauchseigenschaften häufig Einschränkungen, die einen noch breiteren Einsatz von Papier als Verpackungsmaterial erschweren.

Einführung

Eine entscheidende Grenze bei der Gestaltung von Papierverpackungen ist die eingeschränkte Formenvielfalt, die sich mit Tiefzieh- oder Thermoformmaschinen herstellen lässt. Ursächlich hierfür sind die Spannungs-Dehnungs-Eigenschaften des Papiers, das sich im Vergleich zu Kunststoffen durch eine deutlich geringe Dehnfähigkeit und Bruchzähigkeit auszeichnet. Komplexere dreidimensionale Formen, die mit Kunststoffen im Thermoformverfahren sicher hergestellt wer-

den können Weise durch dass in der \ wie Formfas

Papiere k

Umformverf bekannt, fri: den in der \ dukte niedr nen und qu umsetzen zi Verarbeitun der Papierte rung der U Synthese m (s. Abbildur Halbzeug au ebene hind pelbewegui hergestellt. dem Niede

> Falt bild

Stempelbewegun



Abb. 1: Unten Tiefziehproze die betragsm der Formteilv können, lassen sich mit natürlichen Fasern nicht in vergleichbarer jse durch Erwärmen und anschließendes Dehnen herstellen, so s in der Vergangenheit nur auf kostenintensivere Urformverfahren Formfaserguss ausgewichen werden konnte.

niere kommen beim Tiefziehen in Form

formverfahren wie das Ziehen von Papier sind seit über 100 Jahren vannt, fristen bislang industriell jedoch ein Nischendasein und wurin der Vergangenheit zumeist für zylindrische Verpackungsproute niedrigerer Qualität eingesetzt. Um diesem Problem zu begegnund qualitativ ansprechende Formen in komplexeren Geometrien nsetzen zu können, arbeitet der Lehrstuhl Verarbeitungsmaschinen/ rarbeitungstechnik der TU Dresden (VAT) seit 2012 gemeinsam mit Papiertechnischen Stiftung in Heidenau (PTS) an einer Verbesseng der Umformeigenschaften naturfaserbasierter Materialien in othese mit dem kompressionsbasierten Ziehprozesses. Beim Ziehen Abbildung 1) wird durch den Niederhalter eine Normalkraft auf das abzeug aufgebracht, die das Material am Ausweichen aus der Blattbene hindern soll. Anschließend wird das Material durch die Stembewegung in eine Ziehbüchsenöffnung gezogen und das Formteil ergestellt. Im Material entsteht durch die Stempelbewegung unter em Niederhalter und im Ziehspalt eine Zugspannung. Die Druck-

spannungen werden durch die Niederhalterkraft und die Pressung im Spalt erzeugt und wirken deswegen hauptsächlich senkrecht zur Materialebene. Eine weitere Druckspannung entsteht in der Blattebene unter dem Niederhalter durch die Radiusverkleinerung während des Materialeinzugs. Dabei kommt es zu einer Stauchung des Materials in der Blattebene und zu einer Erhöhung der Dichte in der Becherwand. Sobald das Stauchvermögen erschöpft ist, bilden sich Falten durch Ausweichen des Materials aus der Blattebene. Die Falten sind Zonen lokaler Biegung, in denen sich Scherspannungen bilden, die zur Delamination in Faltenbereichen führen. Das in Falten liegende Material wird nach dem Einziehen in den Ziehspalt verdichtet und auf Spaltbreite komprimiert. Diese Verdichtung trägt maßgeblich zur Festigkeit und Formhaltigkeit des Formteils bei. Es ist daher unbedingt nötig, dass die Breite des Spalts kleiner als die Materialdicke ist. Der Kontakt von Material und Werkzeugen im Ziehspalt ist außerdem erforderlich, damit durch die Reibkraft im Spalt ein Teil der Reib- und Formänderungskräfte, die unter dem Niederhalter entstehen, kompensiert wird und nicht die gesamte Prozesskraft vom Formteilboden aufgenommen werden muss. Die Tiefziehwerkzeuge werden auf Temperaturen bis zu 200 °C beheizt; hauptsächlich, um das Papier zu erwärmen und damit dessen Umformbarkeit durch Plastifizierung (in Verbindung mit enthaltener Restfeuchte) zu erhöhen, aber auch, um den Reibkoeffi-

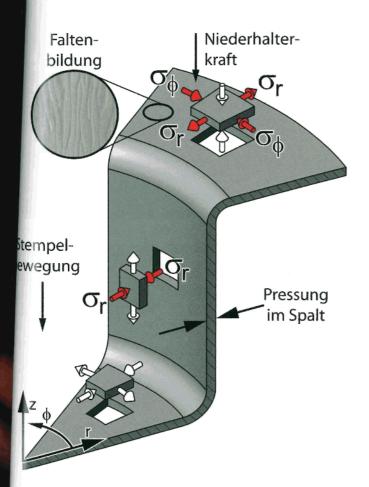
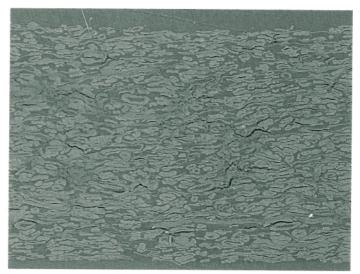
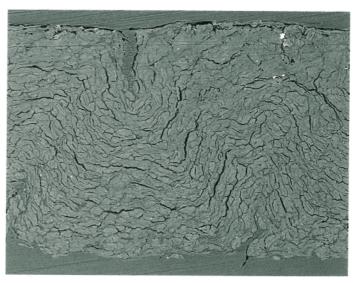
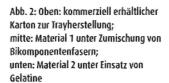


Abb. 1: Unten: Kreissektorförmiger Schnitt eines zylindrischen Formteils während des Tiefziehprozesses mit auftretenden Spannungen im Boden, in der Wand und im Rand; die betragsmäßig größten Spannungen sind rot gefärbt; oben/rechts: REM-Querschnitte der Formteilwand nach Einbettung vor (oben) und nach (unten) der Umformung









Referenz

zienten zwischen Papier und dem Werkzeug zu minimieren [Lenske – Evaluating the factors influencing the friction behavior, DOI: 10.15376/biores.12.4.8340-8358] (Abb. 1).

Neu entwickelte Materialien zeigen eine gute Tiefziehfähigkeit

Materialseitig bestand die Herausforderung von Anfang an darin, ein Papier zu entwickeln, welches hinsichtlich zwei Zielrichtungen optimierte Eigenschaften aufweist: Eine optisch unauffällige Faltenverteilung und gleichzeitig eine hohe Formteilstabilität.

Ein Papier, das die Anforderungen an sehr hohe Oberflächengüte gut erfüllt, wurde durch Beimischung von sogenannten Bikomponentenfasern zu einer Grundrezeptur aus Langfaser-Sulfat-Zellstoff erhalten (Material 1). Diese Spezialfasern bestehen aus einen Polyester-Kern, welcher mit einer Co-Polyester-Bindemittelhülle umgeben ist. Während der Umformung kann ein Aufschmelzen der Hülle zu einer erhöhten Fasermobilität führen. Gleichzeitig wirkt die technische Faser in der Materialstruktur stützend, sodass eine geringe Blattdichte erreicht und den Fasern Raum für Verschiebungen gegeben wird. Im Ergebnis sind bis zu einer Wandhöhe von 25 mm keine Falten erkennbar. Höhere Wandbereiche zeigen eine optisch ansprechende Faltenverteilung, so dass Becher bis zu einem Ziehverhältnis (Wandhöhe/Bodendurchmesser) von 1,0 sicher hergestellt werden können. Gleichzeitig sind gegenüber der kommerziellen Referenz jedoch die axiale Stabilität der Formteile und die Zylindrizität verschlechtert. Der Kunststoffanteil, der in Form der technischen Faser hinzugefügt wurde, hat zunächst die Effekte und Verformungsmechanismen aufgezeigt und kann z.B. durch den Einsatz einer Celluloseregeneratfaser vermieden werden. Die Effekte hiermit sind vergleichbar. (Abb. 2, 3)

Im jüngst abgeschlossenen IGF-Kooperationsvorhaben "FormPack" war es Ziel, eine Rezeptur und ein Herstellungsverfahren zu entwickeln, welches ohne Synthesefasern auskommt und zusätzlich zu einer guten Faltenverteilung noch eine hohe axiale Stabilität der Formteilwand gewährleistet. Ein solches Papier, welches vollständig auf nachwachsenden Rohstoffen basiert, konnte im Rahmen des Projektes entwickelt werden (Material 2).

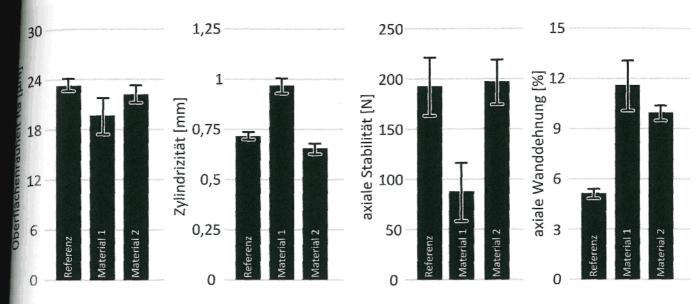
Der Schlüssel liegt hierbei in der Verwendung einer Gelatine zur Verbesserung des Restrukturierungsverhaltens: Vorversuche in der Anfangsphase des Projektes, die auf Arbeiten am VTT zur Erhöhung



Material 1



Material 2



3: Kenngrößen der hergestellten Formteile

Papierdehnbarkeit aufbauten, konnten zeigen, dass die Papiere rch hydrogelbildende Biopolymere wie Gelatine, Agar, Gellan er Carrageen eine temperaturabhängige Erweichung/Verfesting erfahren, die im Umformprozess genutzt werden kann. In ne Grundrezeptur auf Basis eines Langfaser-Sulfat-Zellstoffes, dem geringem Anteil Celluloseregeneratfasern beigemischt sind, wureim Maschinenversuch zwischen zwei Lagen per Sprühauftrag he Typ-B-Gelatine ins Papier eingebracht, um die entsprechenden estrukturierungseigenschaften zu erzielen. In Kombination mit her Trocknung ohne Schrumpfungsbehinderung wurde durch eine erstärkte Trockenschrumpfung zusätzlich eine Erhöhung der Marialdehnbarkeit erreicht. Auf diese Weise konnte die Zylindrizität nd die axiale Stabilität der Formteile verbessert werden. So wuren die Eigenschaften der kommerziell erhältlichen Referenz in den rfassten Qualitätskategorien entscheidend verbessert. Das Mateal bleibt trotz Modifikation vollständig im Papierkreislauf rezyk-

PTS und VAT planen derzeit die intensive Fortführung des Forschungsschwerpunktes. Der Fokus folgender Arbeiten wird vorrangig auf der Erhaltung von Barriereeigenschaften im Umformprozess sowie einer Vorhersage der Tiefziehfähigkeit von Papieren liegen (Abb. 4).

Dank

Das Forschungsvorhaben IGF 18877 BR der AíF-Forschungsvereinigungen PTS und IVLV wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier- und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

www.ptspaper.de

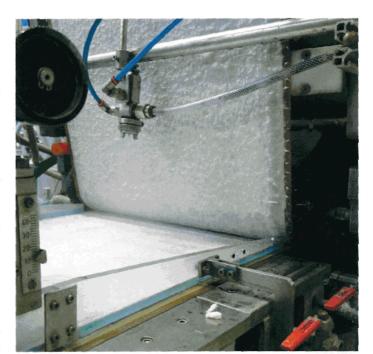




Abb. 4: rechts oben: Versuchspapiermaschine im Heidenauer PTS-Technikum mit Duplex-Stoffauflauf und Sprühbalken; unten: Die Trocknung der Papiere ohne Schrumpfungsbehinderung erfolgte in einem kontinuierlich arbeitenden Durchströmtrockner