

Wood Densification and Recovery with Focus on the Technological Implementation Profiled Wood Manufacturing

Verdichtung und Rückverformung von Holz unter besonderer Beachtung der technologischen Umsetzung zur Profilholzherstellung

Von der
Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Jörg Wehsener
geboren am 13. Dezember 1967 in Grimma

Gutachter:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bohumil Kasal
Univ.-Prof. Dr.-Ing. José Manuel Cabrero

eingereicht am: 20. September 2020
verteidigt am: 16. April 2021

Kurzfassung

Die universelle Verwendung von Holz wurde durch die Entwicklung moderner lignozellulosefreier Werkstoffe in den letzten Jahrzehnten zurückgedrängt. Anisotropie und Inhomogenität, geringe Dauerhaftigkeit und große Streuung prägen die ingenieurtechnische Wahrnehmung von Holz. Mit der Einführung und Adaption neuer Technologien zur Verarbeitung von Holz wurden materialspezifische Nachteile verringert und definierte, kontinuierlich reproduzierbare Eigenschaften umsetzbar.

Trotzdem werden heute im Wesentlichen zwei Verarbeitungsverfahren für Holz genutzt: Schneiden und Kleben. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Verfahren zur Umformung nach DIN 8582 untersucht: die thermo-hygro mechanische Verdichtung mit anschließendem Gesenkbiegen und Tiefziehen. Der Schwerpunkt der durchgeführten Untersuchungen lag auf der Ausrichtung der Holzfaser senkrecht zur Umformung und stützte sich folgerichtig auf die Patente DE 102 24 721 „Formteil aus Holz und Verfahren zu seiner Herstellung“ und DE 502 08 785 „Profil aus Holz und Verfahren zu seiner Herstellung“, deren Hauptmerkmal die Verdichtung und Umformung unter Nutzung der Rückerinnerung für technische Formholzelemente darstellt. In der Arbeit wurden somit die Rohdichteverteilung und das Spannungs-Dehnungs-Verhalten während der Verdichtung, Rückerinnerung und Umformung untersucht.

Einen breiten Raum nahmen die Ermittlung der Materialkennwerte von Pappel (*Populus sp.*), Kiefer (*Pinus silvestris L.*), Balsa (*Ochroma boliviana R.*), Buche (*Fagus sylvatica L.*) und Linde (*Tilia sp.*) hinsichtlich der Querszugfestig- und Steifigkeit ein. Es erfolgten Messungen zum Verdichtungsverhalten und zur Rückerinnerung von Kleinprobekörpern sowie die Untersuchung von uni- und biaxial verdichteten Platten bezüglich der eingebrachten Verformung in Betrag und Verteilung. Es wurde eine Wichtung der Einflußgrößen Holzfeuchtigkeit, Temperatur, Jahrringlage und Holzart vorgenommen. In der Auswertung wurden Möglichkeiten zur Manipulation einzelner Parameter betrachtet. Die Erfassung der neutralen Faser, sowie der Zug- und Druckzonen am beanspruchten Probekörper lies Rückschlüsse auf das Materialverhalten bei der Umformung zu. Für die Berechnung der Probekörpergeometrie wurde ein Dehnungsverhältnis (Zug/Druck) von 70% zu 30% zu Grunde gelegt. Im zweiten Teil der Arbeit wurden die technologischen Parameter beim Übergang vom Labormaßstab zur industriellen Anwendung, unter besonderer Beachtung der praktischen Aspekte der Herstellung von nachformbaren Massivholzplatten, beschrieben. Die Rasterfeldanalyse (GSA-Grid Strain Analysis) ermöglichte eine Abschätzung der Umformungsgrenzen von biaxial verdichteten Hirnholzplatten und deren Bewertung in einem FLD (Forming Limit Diagram). Es wurden Zug- und Tiefungsversuche in Anlehnung an Nakajima (DIN EN ISO 12004-2) zur Charakterisierung der 3D-Formbarkeit, der Bestimmung des Umformgrades φ und der Versagensgrenzen zur fehlerfreien Herstellung eines Ellipsoidenelementes aus biaxial verdichteten Hirnholzelementen durchgeführt. Die Materialdehnungen betragen mehr als 25%. Im Ergebnis der technologischen Umsetzung wurden 18 großformatige, uniaxial verdichtete Massivholzplatten im Gesenkbiegeverfahren zu Profilen mit 300mm Durchmesser und 3m Länge für eine Windkraftanlage hergestellt.

Abstract

Over the last decades, the general use of wood was displaced by the development of non-lingo-cellulosic materials. Today's engineering perception of wood is characterized by anisotropy and inhomogeneity, low durability, and large variance. The implementation and adaption of new technologies in wood processing reduced specific disadvantages in material and designs and allowed to achieve continuously reproducible properties.

Despite these advances, today two main processing methods are used for wood: sawing and gluing. In the presented work, a forming process has been investigated according to DIN 8582: thermo-hydro mechanical densification with press brake bending and deep drawing. The key aspect of this studies was focused on the wood fiber direction perpendicular to the bending line. It was based on the patents DE 102 24 721 „ Wood Profile and Method of the Production of the Same” and DE 502 08 785 „Wood Profile and Process of the Production of the Same”. The major interest was determined by densification and forming of wood structure profiles utilizing recovery.

In the presented study, density distribution and stress-strain behavior was analyzed during densification, recovery, and forming process. A major part of the work was the evaluation of material properties of poplar (*Populus sp.*), pine (*Pinus silvestris L.*), balsa (*Ochroma boliviana R.*), beech (*Fagus sylvatica L.*) and lime (*Tilia sp.*) regarding their strength and stiffness. Furthermore, tests were performed evaluating the imposed plastic deformations with regard to amount and distribution on small test cubes (60 by 60 by 50 mm³) and uni- and biaxial densified boards. Parameters like wood moisture, temperature, annual ring direction and wood species as well as a description of the different impact on the forming results were assessed. The analysis of neutral axis as well as the tension- and compression zones on the tested specimens allowed for conclusions on the wood behavior during the forming process. The calculation of specimens geometry was made with the strain relationship (tension / compression) of 70 to 30 percent. The technological parameters were described by up-scaling from laboratory to industrial application with special focus on the practical aspects of producing moldable end-grain boards. The grid strain analysis (GSA) enabled an estimation of forming limits on biaxial densified end grain boards in an FLD (forming limit diagram). Tension and deep drawing tests according to Nakajima (DIN EN ISO 12004-2) were carried out to characterize the 3D-moldability, to determine the degree of deformation ϕ , and the failure limit by producing ellipsoid elements on biaxial densified end grain boards. A material strain of more than 25% was achieved. Using press brake bending, 18 wood profiles were manufactured with a diameter of 300mm and a length of 3000mm. The implementation of described wood profiles using uniaxial densified large boards was deployed in a wind power plant.