

Entwicklung einer Methode zur Vorhersage der Zielgeometrie von komplexen, doppelt gekrümmten Sperrholzformteilen

Development of a method for predicting the target geometry of complex, double-curved plywood moulded parts

Projektleiter:

Project leader:

Tino Schulz

Projektbearbeiter:

In-charge:

Kevin Schlunze

Projektpartner:

Project partners:

Danzer Deutschland GmbH

Fördermittelgeber:

Co-funded by:

BMWE

Projekträger:

Project management:

EURONORM GmbH

Förderprogramm:

Funding programme:

INNO-KOM

Förderkennzeichen:

Funding code:

FKZ: 49MF210148

Laufzeit:

Term:

01.04.2022 - 31.03.2025

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Die Zielstellung des Vorhabens bestand in der Entwicklung einer Methode zur Vorhersage von Formabweichungen von gekrümmten Sperrholzformteilen relativ zur Zielgeometrie. Die Grundlage dafür bildete eine Analyse der funktionalen Zusammenhänge zwischen Presswerkzeug und -prozess, Materialeigenschaften und -qualität sowie Furnierschichtenanordnung, -ausrichtung und -dicke. Durch eine darauf abgestimmte Fertigungstechnologie sollte das Auftreten von Materialschädigungen, insbesondere Schubfalten- und Rissbildungen, deutlich vermindert werden.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

The objective of the project was to develop a method for predicting shape deviations of curved plywood moulded parts relative to the target geometry. This was based on an analysis of the functional relationships between the pressing tool and process, material properties and quality, and veneer layer arrangement, alignment and thickness. A tailored manufacturing technology should be used to significantly reduce the occurrence of material damage, in particular shear folds and crack propagation.

APPROACH AND RESULTS

The Finite Element Method (FEM) was the central simulation and modelling tool used. It was used to simulate the processes and analyse the resulting structural behaviour. To identify the causes of material damage, various model parameters were varied and their effect on structural behaviour was investigated. On this basis, the moulded part structure and the manufacturing process were subject to an optimisation process with the objective to reduce the probability of damage occurring. The results of the simulations were subsequently validated by tests on a pilot plant scale and in industrial trials. During the project, it was necessary to change the industrial partner. In the relation-

VORGEHENSWEISE UND ERGEBNISSE

Zentrales Simulations- und Modellierungswerkzeug war dabei die Finite-Elemente-Methode (FEM). Mit ihrer Hilfe wurden die ablaufenden Prozesse simuliert und das resultierende Strukturverhalten analysiert. Zur Identifizierung der Ursachen für die Materialschädigungen wurden verschiedene Modellparameter variiert und deren Einfluss auf das Strukturverhalten untersucht. Auf dieser Basis erfolgte eine Optimierung der Formteilstruktur bzw. des Fertigungsprozesses hinsichtlich einer geringeren Schadenseintrittswahrscheinlichkeit. Die Ergebnisse der Simulationen wurden anschließend durch

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

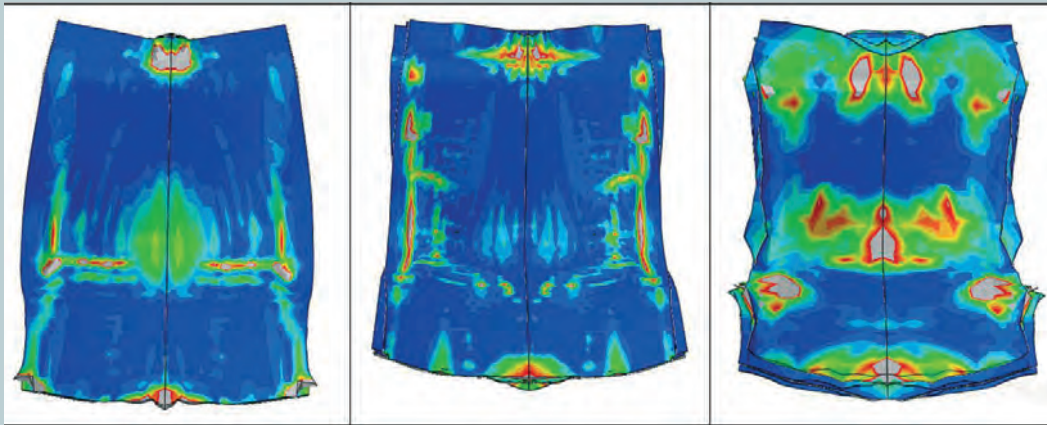


Abb. 1: Maximale Dehnung während des Pressvorganges im Industrierversuch (Lagenanordnung: links LLLLLL, Mitte LQLLQL, Rechts QLQLQL)

Fig. 1: Maximum expansion during the pressing process in industrial testing (layer arrangement: left LLLLLL, centre LQLLQL, right QLQLQL)

Versuche im Technikumsmaßstab sowie im industriellen Versuch validiert.

Während der Projektlaufzeit musste das Industrieunternehmen gewechselt werden. Im Zusammenhang mit dem Partnerwechsel kamen andere Furniervarianten (3D-Furniere; Danzer) zur Anwendung. Aufgrund dessen mussten zahlreiche Versuche wiederholt und das Vorgehen im Forschungsprojekt an die neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Die Arbeiten fokussierten zunächst auf die Entwicklung eines geeigneten Materialmodells für die Simulation von 3D-Furnieren. Die untersuchten Modellierungsansätze wiesen zwar Potenzial zur Abbildung einzelner charakteristischer Effekte auf (Zug-Druck-Asymmetrie, Faservorzugsrichtung, Biegesteifigkeit entsprechend Belastungsrichtung), jedoch konnten nicht alle erforderlichen Effekte, wie u. a. die zyklische Schubsteifigkeit, dargestellt werden. Auch erwiesen sich die Berechnungen als numerisch instabil, weshalb ein pragmatischerer Ansatz verfolgt werden musste.

Nach Aussage des Projektpartners sind auch Vorhersagen zum fertigen Formteil aus handelsüblichen Schäl furnieren bzw. Rohfurnieren nutzbringend für die Auslegung neuer Werkzeuge. Der Fokus lag daher nicht mehr darauf, den Prozess und das dabei stattfindende Materialverhalten kontinuierlich abzubilden. Stattdessen wurde ein Ansatz

ship between the change of partner and the use of different veneer variants (3D veneers; Danzer), numerous attempts had to be repeated and the research project procedure had to be adapted to the new circumstances. The work initially focused on developing a suitable material model for simulating 3D veneers. Although the modelling approaches investigated showed potential for mapping individual characteristic effects (tension-compression asymmetry, fibre orientation, bending stiffness according to the direction of loading), not all the necessary effects, such as cyclic shear stiffness, could be represented. The computations also proved to be numerically unstable, which is why a more pragmatic approach had to be pursued.

According to the project partner, predictions about the finished moulded part made from commercially available peeled veneers or raw veneers are also useful for the design of new tools. The focus was therefore no longer on continuously mapping the process and the material behaviour that occurs during it. Instead, an approach was pursued in which the resulting structural behaviour is described using meaningful discontinuous assumptions.

In this relationship, the extent to which compaction effects affect the resulting material properties was investigated. The result was a

verfolgt, bei dem das resultierende Strukturverhalten über sinnvolle diskontinuierliche Annahmen beschrieben wird.

In diesem Zusammenhang wurde untersucht, inwiefern sich Verdichtungseffekte auf die resultierenden Materialeigenschaften auswirken. Ergebnis war eine Vorzugsvariante auf Basis eines 3-schichtigen, gleichorientierten Sperrholzes. Vorteilhaft an diesem Vorgehen war, dass u. a. die zyklische Schubsteifigkeit durch das Abbinden des Klebstoffes bei der Modellbildung entfallen konnte. Die weiteren Untersuchungen fokussierten auf die Validierung des neuen Materialmodells und hatten zum Ziel, eine Methodik zur Vorhersage des Materialverhaltens, insbesondere des Rückverformungsverhaltens (Springback), zu finden. Hierzu wurde eine mehrstufige Simulationskette erarbeitet.

Die Analyse der Auswirkungen des eingesetzten Klebstoffsystems und des Lastfalls (3-Punkt vs. 4-Punkt-Biegung) wurde dabei für ein Harnstoff-Formaldehydharz-System (UF-Harz) und ein Phenol-Formaldehydharz-System (PF-Harz) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass das Klebstoffsystem einen vernachlässigbaren Einfluss auf das resultierende Strukturverhalten besitzt.

In weiteren Untersuchungen wurde die erarbeitete Herangehensweise eingehender an einem biegebelasteten Formteil evaluiert, weiter verfeinert und für verschiedene Lagenanordnungen geprüft, wobei hinreichend genaue Ergebnisse erzielt werden konnten.

Die gesammelten Erkenntnisse wurden zusammengeführt und ein Modell zur Vorhersage der Zielgeometrie von Sperrholzformteilen

preferred variant based on a 3-layer, equally oriented plywood. One advantage of this approach was that, among other things, the cyclic shear stiffness could be eliminated during modelling by allowing the adhesive to set. Further investigations focused on validating the new material model and aimed to find a methodology for predicting material behaviour, in particular springback behaviour. A multi-stage simulation chain was developed for this purpose.

The effects of the adhesive system used and the load case (3-point vs. 4-point bending) were analysed for a UF urea-formaldehyde resin system and a PF phenol-formaldehyde-based resin system. The results showed that the adhesive system has a negligible effect on the resulting structural behaviour.

In further investigations, the developed approach was evaluated in more detail on a moulded part subjected to bending stress, further refined and tested for various layer arrangements, whereby sufficiently accurate results were achieved.

The findings were compiled and a model for predicting the target geometry of plywood moulded parts was developed. The model was evaluated in an industrial trial at the industrial partner's premises using the DHS (Danzer Highback Shell) seat shell model (Fig. 1). Three variants were considered for this purpose, which were manufactured with different layer arrangements. The moulded parts were subsequently converted into a mesh geometry using surface measurement. By comparing these geometries with the tool surface, a reference for assessing the springback behaviour was created, which served as

entwickelt. Die Evaluierung des Modells wurde mittels Industrieversuch beim Industriepartner am Sitzschalen-Modell DHS (Danzer Highback Shell) realisiert (Abb. 1). Dafür wurden 3 Varianten betrachtet, welche mit unterschiedlichen Lagenanordnungen gefertigt wurden. Die Formteile wurden anschließend mittels Oberflächenvermessung in eine Netzgeometrie überführt. Durch den Vergleich dieser Geometrien mit der Werkzeugoberfläche konnte eine Referenz zur Bewertung des Springback-Verhaltens erstellt werden, die als Validierungsbasis für die simulativen Untersuchungen diene.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Springback-Verhalten mittels der entwickelten Methode grundsätzlich vorhergesagt werden kann. Allerdings konnten nicht alle Effekte simulativ abgebildet werden.

Insgesamt konnte die Vorhersage von Formabweichungen gegenüber der Zielgeometrie von Sperrholzformteilen im Projekt maßgeblich weiterentwickelt werden und es wurden belastbare Ergebnisse zur Optimierung von Fertigungsprozessen für Sperrholzformteile erzielt.

a validation basis for the simulation studies. The results show that the springback behaviour can generally be predicted using the developed method. However, not all effects could be simulated.

Overall, the project significantly advanced the prediction of shape deviations from the target geometry of plywood moulded parts and produced reliable results for the optimisation of manufacturing processes for plywood moulded parts.