

Klebstofffreies, stoffliches Fügen lagenförmiger Holzwerkstoffe durch die in-situ Funktionalisierung von holzeigenen Bestandteilen mittels Hochfrequenz

Adhesive-free, material joining of layered wood-based materials by in-situ functionalisation of wood specific components using radio frequency

Projektleiter:
Project leader:
Christoph Scheffel

Projektbearbeiter:
In-charge:
Christoph Scheffel

Fördermittelgeber:
Co-funded by:
BMW

Projekträger:
Project management:
EURONORM GmbH

Förderprogramm:
Funding programme:
INNO-KOM

Förderkennzeichen:
Funding code:
49VF220046

Laufzeit:
Term:
01.04.2023 - 30.09.2025

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Holzwerkstoffe lassen sich gezielt an spezifische anwendungstechnische Anforderungen anpassen, die mit klassischem Vollholz häufig nicht oder nicht wirtschaftlich realisierbar sind. Je nach Werkstoff sind dafür jedoch Klebstoffanteile von teilweise über 10 m% üblich. Zum Einsatz kommen überwiegend duroplastisch vernetzende Klebstoffe, aber auch thermoplastische Systeme. Diese Klebstoffe weisen abhängig vom Typ verschiedene Nachteile auf, darunter gesundheitsrelevante VOC-Emissionen (insbesondere Formaldehyd), eine begrenzte Lagerfähigkeit sowie hohe Kosten. Zudem basieren sie in der Regel auf fossilen Rohstoffen. Am Ende der Produktlebensdauer steht ein Stoffgemisch aus Holz und Kunststoff, was der Umsetzung konsequenter Kreislaufkonzepte, etwa nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip, entgegensteht. Eine Möglichkeit, diesen Nachteilen bei der Herstellung von Holzwerkstoffen zu begegnen, ist der Verzicht auf Klebstoffe. Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung von Grundlagen für das klebstofffreie Fügen von Holzlagenwerkstoffen. Bei der Prozessentwicklung auf Basis der Hochfrequenztechnologie war es das Ziel, insbesondere feuchtebeständige Holzwerkstoffe bindemittelfrei herzustellen, was mit bekannten Holzschweißverfahren, wie dem Holzreibschweißen, bisher nicht zufriedenstellend möglich ist.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Wood based materials adapt to specific application requirements that are often not feasible or not economically viable with solid wood. However, depending on the material, adhesive contents of more than 10 m-% are common. Thermosetting adhesives are predominantly used, but thermoplastic systems are also employed. Depending on the type, these adhesives have various drawbacks, including health-related VOC emissions (especially formaldehyde), limited shelf life and high costs. In addition, they are usually based on fossil raw materials. At the end of the product life cycle, a mixture of wood and adhesive plastic remains, which is a barrier to consistent recycling concepts, such as the cradle-to-cradle principle. One way to counteract these drawbacks is to completely avoid adhesives. Therefore, the aim of the project was to develop the fundamentals for adhesive-free joining of wood composite materials. The specific aim of the process based on high-frequency technology was to achieve materials with moisture resistance without the use of binders, which has not been possible to a satisfactory degree using known wood welding processes such as friction welding.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

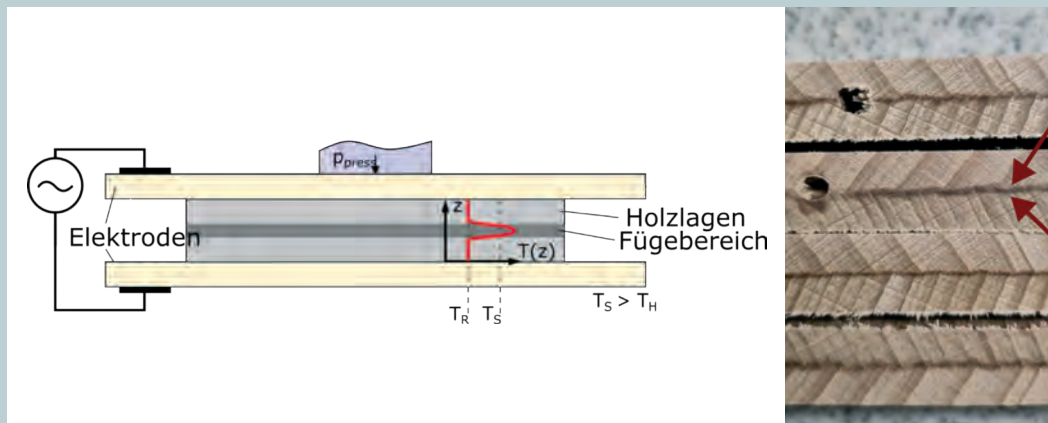


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verfahrensprinzips und deutliche Verfärbung der Fügezone durch selektiven Holzschweißprozess an Probekörpern aus Buchenholz

Fig. 1: Schematic representation of the process principle and visible joint zone due to selective wood welding process on beech wood test specimens

VORGEHENSWEISE

Mittels Hochfrequenzerwärmung wurden holzeigene Bestandteile definiert in einer schmalen Fügezone zwischen den Lagen des Holzsubstrates auf Temperaturen oberhalb der Plastifizierungstemperatur von Lignin erhitzt, ohne das umliegende Holzsubstrat derart mitzuerwärmen, dass es sich zersetzt oder verfärbt. Um das in Abbildung 1 dargestellte Prinzip zu realisieren, wurde der Füge-spalt mit verschiedenen Hochfrequenz (HF)-Markern beaufschlagt. Diese besitzen einen entsprechend erforderlichen Dipolcharakter und damit eine erhöhte Anregbarkeit im HF-Feld im Vergleich zum (trockenem) Holzsubstrat. Es zeigte sich, dass mit einem Oberflächenauftrag mit Wasser, aufgrund dessen hoher Polarität, bereits ein starker selektiver Effekt erzielbar war.

In Parameterstudien wurden darrgetrocknete Buchenholzlamellen in mehreren Versuchsreihen unter Variation von Presszeit, Temperatur und Wasserauftrag in einem Temperaturbereich von ca. 220 – 270 °Cgefügt. Zur Beurteilung der Festigkeit wurde sich an der DIN EN 204/205 orientiert. Mikroskopische Untersuchungen, Dichteprofilanalysen und GC-MS-Messungen dienten der Charakterisierung der Fügezone und der Identifikation reaktiver Abbauprodukte.

APPROACH

Using high-frequency heating the wood was heated to temperatures above the plastification temperature of lignin exclusively in a narrow joining zone between the layers of the wood substrate without heating the surrounding wood substrate to such an extent that it decomposes or decolorates. To realise the principle shown in Figure 1, various radio-frequency (RF) markers were applied to the joint gap. These have the required dipole character and thus are increasingly animated in the RF field compared to the (dry) wood substrate. It was found that a strong selective effect could already be achieved by applying water to the surface.

In parameter studies, oven-dried beech wood lamellas were joined in several test series, varying the pressing time, temperature and water application in a temperature range of approx. 220 – 270 °C. The strength was evaluated in accordance with DIN EN 204/205. Microscopic examinations, density profile analyses and GC-MS measurements were used to characterise the joint zone and identify reactive degradation products. In addition, additives were used in further test series to regulate viscosity and increase strength. Based on the determined characteristic values, a mechanical calcula-

Ergänzend kamen in weiteren Versuchsreihen Additive zur Viskositätsregulation und zur Erhöhung der Festigkeit zum Einsatz. Auf Basis der ermittelbaren Kennwerte wurde zudem ein mechanisches Berechnungsmodell unter spezieller Berücksichtigung der Eigenstressungen erstellt, welches zur weiteren Prozessoptimierung bei der Herstellung von Holzschweißverbindungen beitragen kann.

ERGEBNISSE

Bei der Trockenprüfung (Lagerungsfolge 1) nach DIN EN 204/205 konnten mit Buchenholz normgerechte Zugscherfestigkeiten von bis zu 10 MPa erreicht werden. Die höchsten Festigkeiten wurden bei einem Wasserantrag von 300 g/m² und Temperaturen zwischen 230 °C und 240 °C erreicht, wobei die Presszeit zwischen 13 und 15 min lag. Mikroskopische Analysen zeigten eine deutliche Verdichtung und plastische Umformung der Zellwände. Die Untersuchungen wurden durch die Messung des Rohdichteprofiles ergänzt, wobei die durchschnittlichen maximalen Dichten zwischen 812 kg/m³ und 1021 kg/m³ variierten. Es konnte eine durchschnittliche Schweißfugendicke von 1,55 mm (Schwellwert aus Mittelwert der Rohdichte Buchenholz addiert mit vierfacher Standardabweichung) ermittelt werden. Chemische Untersuchungen belegten die Bildung reaktiver Abbauprodukte von Hemicellulosen und Lignin, die zur Vernetzung in der Fügezone beitragen. Durch den Einsatz einer Saccharose-Zitronensäure-Lösung konnten erhöhte Feuchteanforderungen nach DIN EN 204/205

tion model was also created, taking internal stresses into special consideration, which can contribute to further process optimisation in the manufacture of wood welded joints.

RESULTS

In dry testing (storage sequence 1) in accordance with DIN EN 204/205, beech wood achieved standard-compliant tensile shear strengths of up to 10 MPa. The highest strengths were achieved with a water application of 300 g/m² and temperatures between 230 °C and 240 °C, with a pressing time between 13 and 15 minutes. Microscopic analyses showed significant compression and plastic deformation of the cell walls in the joint zone. The investigations were supplemented by a measurement of the density profile, with average maximum densities varying between 812 kg/m³ and 1021 kg/m³. An average weld joint thickness of 1.55 mm (threshold value from the mean value of the density of beech wood added to four times the standard deviation) was determined. Chemical investigations confirmed the formation of reactive degradation products of hemicellulose and lignin, which contribute to cross-linking in the joint zone. The use of a sucrose-citric acid solution enabled increased moisture requirements in accordance with DIN EN 204/205 to be achieved. Individual specimen met the requirements of stress group D4 in accordance with storage sequence 5 – DIN EN 204/205. Since there is no relative movement of the joining partners during RF welding, additives

erreicht werden, sodass einzelne Varianten den Anforderungen der Beanspruchungsgruppe D4 nach Lagerungsfolge 5 – DIN EN 204/205 entsprachen. Da beim HF-Schweißen keine Relativbewegung der Fügepartner stattfindet, können Additive möglicherweise sehr gezielt zur Ausbildung von Adhäsionsmechanismen eingesetzt werden. Das Verfahren ließ sich grundsätzlich auch auf Holzarten wie Eichen- und Douglasienholz übertragen, wobei deutliche Anpassungen der Prozessparameter notwendig waren. Die erarbeiteten Grundlagen leisten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung neuartiger, recyclingfähiger Werkstoffe, insbesondere im Bereich dicker Lagenwerkstoffe.

could potentially contribute very targeted to adhesion mechanisms.

The process could also be applied to wood species such as oak and douglas fir, although significant adjustments to the process parameters were necessary.

The principles developed make an important contribution to the development of novel, recyclable materials, especially in the field of thick laminated wooden materials.