

Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung des Alterungsverhaltens furnierter Bauteile im Automotive-Bereich

Development of a method for determining the ageing behaviour of veneered components in the automotive industry

Projektleiter:
Project leader:
Dr. Florian Kettner

Projektbearbeiter:
In-charge:
Friederike Häusler

Projektpartner:
Project partners:
JOYSONQUIN
Automotive Systems GmbH

Fördermittelgeber:
Co-funded by:
BMWK

Projekträger:
Project management:
EURONORM GmbH

Förderprogramm:
Funding programme:
INNO-KOM

Förderkennzeichen:
Funding code:
49MF210162

Laufzeit:
Term:
01.04.2022 bis 31.12.2024

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Zierelemente im automobilen Innenraum sind im Laufe ihres Produktlebens vielfältigen Umweltfaktoren ausgesetzt. Bestrahlung (UV/Vis- und IR-Strahlung), hohe Temperaturen und hohe rel. Luftfeuchtigkeit provozieren Materialschädigungen und damit einhergehende sichtbare Materialveränderungen. Im Zuge der Produktentwicklung und -freigabe wird das umweltinduzierte Alterungsverhalten mittels genormter Kurzzeitbelastungstests im Labor geprüft. Oftmals zeigen die Alterungserscheinungen nach diesen Kurzzeitbelastungstests jedoch nur näherungsweise Korrelationen mit solchen, wie sie unter Realbedingungen im Automobil entstehen. Ziel des Vorhabens war folglich, eine Prüfmethode zu entwickeln, die eine kurzfristige Prognose zu real auftretenden UV/Vis-, temperatur- und feuchtebedingten Materialschädigungen und damit verknüpften makroskopischen Schadbildern der Zierelemente zulässt und Versagenswahrscheinlichkeiten prognostiziert.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Decorative elements in automotive interiors are exposed to a variety of environmental factors during their product life. Irradiation (UV/Vis and IR radiation), high temperatures, and high relative humidity provoke material damage and associated visible material changes. During product development and release, the environmentally-induced ageing behaviour is tested in the laboratory by means of standardised short-term exposure tests. However, the indication of ageing often only show approximate correlations with those that occur under real conditions in the automobile after these short-term exposure tests. Therefore, the aim of the project was the development of a test method that would allow a short-term prognosis of real-life UV/Vis, temperature, and humidity-related material damage and the associated macroscopic damage patterns of the decorative elements, and to predict failure probabilities.

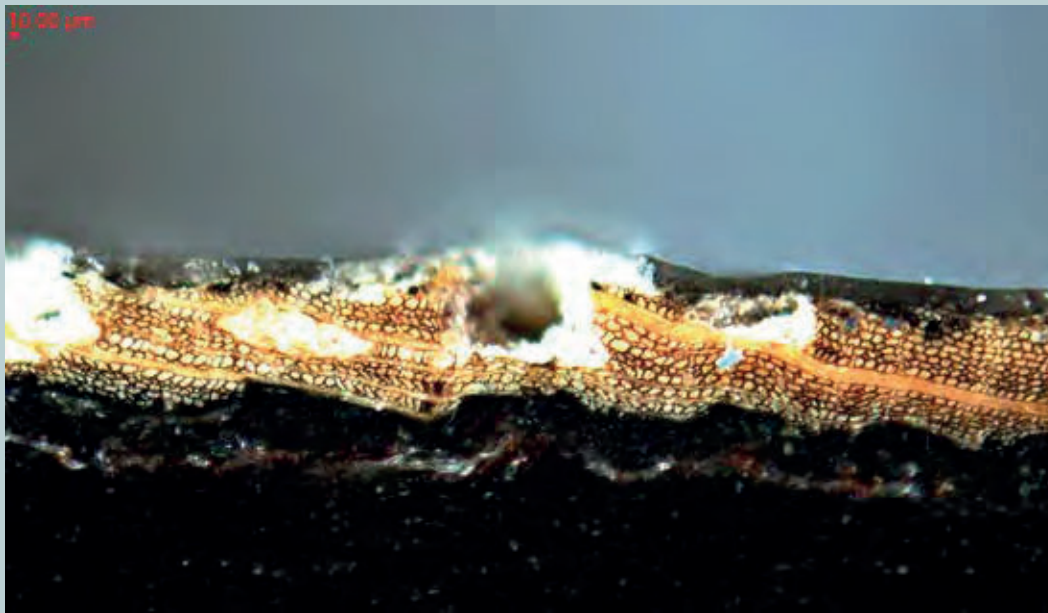


Abb. 1: Mikroskopische Aufnahme des Querschnitts eines Zierelements auf Basis von Nussbaumfurnier nach 12-monatiger Belastung in kontinental-aridem Wüstenklima bei 10-facher Vergrößerung; Rissbildungen in Lack und Furnier sowie Lackabplatzer erkennbar

Fig. 1: Microscopic image of a walnut-veneer decorative element's cross-section after 12 months of exposure to continental arid desert climate with a 10x magnification of; cracks in the varnish, veneer, and chipped varnish can be seen.

VORGEHEN

Im Verlauf des Projekts wurden die Zierelemente unterschiedlichen Belastungsprüfungen unterzogen. Als Referenz diente die Belastung von Prüfkörpern in einem kontinental-ariden Wüstenklima (natürliche Auslagerung hinter Glas) für 12 Monate. Im Zuge künstlicher Kurzzeitbelastungstests (10-14 Tage) im Labor wurde das Verhalten der Zierelemente und Rohmaterialien gegenüber isolierten und kombinierten Umweltparametern (Bestrahlung, Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit) untersucht. Die Materialeigenschaften und -veränderungen wurden zu definierten Zeitpunkten mittels

- Oberflächenprüfungen (Farbe, Glanz, Kontaktwinkel),
- Mikroskopie,
- chemisch-struktureller (IR-Spektroskopie),
- mikromechanischer (Nanoindentierung) und
- thermischer Analyse (DSC)

nachvollzogen.

APPROACH

During the project, the decorative elements were subjected to various stress tests. The stress of test specimens in a continental, arid desert climate (natural exposure behind glass) for 12 months served as a reference. During artificial short-term exposure tests (10-14 days) in the laboratory, the behaviour of the decorative elements and raw materials was examined regarding isolated and combined environmental parameters (irradiation, temperature, relative humidity). The material properties and changes were examined at defined points in time by means of

- surface examinations (colour, gloss, contact angle),
- microscopy,
- chemical-structural (IR spectroscopy) analysis,
- micro-mechanical (nanoindentation) analysis, and
- thermal analysis (DSC).

Die so ermittelten Messdaten erlaubten detaillierte Aussagen über umweltinduzierte Materialveränderungen und bildeten die Basis für eine statistische Auswertung.

ERGEBNISSE

Die unter natürlichen Bedingungen gealterten Zierelemente wiesen nach 12-monatiger Belastung makroskopisch sichtbare Alterungserscheinungen in Form von Rissen (Abb. 1) und Verfärbungen (Beispielprobe: $L^*a^*b^*$ -Gesamtfarbabstand $\Delta E = 8,95$) auf. Versprödungserscheinungen der PUR-basierten Lackbeschichtungen konnten über einen deutlichen Anstieg der Glasübergangstemperatur T_g von $74,1^\circ\text{C}$ auf $88,3^\circ\text{C}$ ($\Delta T = +14\text{ K}$) und der Martenshärte von $65,4\text{ MPa}$ auf $77,3\text{ MPa}$ ($\Delta HM = +12\text{ MPa}$) nachgewiesen werden. Der Kontaktwinkel gegenüber Wasser verringerte sich im selben Zeitraum um $-23,4^\circ$, was auf eine höhere Hydrophilie in Folge der Bildung polarer Hydroxyl- oder Carboxylgruppen durch Oxidations- und Hydrolysereaktionen hinweist.

Im Zuge der künstlichen Alterungsprüfungen stellte sich heraus, dass die Umweltparameter Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit allein nur geringe sicht- und messbare Materialveränderungen an Rohmaterialien und Zierelementen hervorriefen (Beispielprobe: $L^*a^*b^*$ -Gesamtfarbabstand ΔE nach 240 h Wärmelagerung bei $100^\circ\text{C} = 0,97$). Prüfungen bei denen die Bestrahlung als isolierter Parameter angewendet wurde, provozierten hingegen in Abhängigkeit des, je nach eingesetztem Filter, eingestrahltens Spektrums (Wellenlänge bzw. UV-Anteil) und der Bestrahlungsstärke sichtbare Schadbilder, die

The data measured in this way allowed detailed statements to be made about environmentally-induced material changes and formed the basis for a statistical evaluation.

RESULTS

The decorative elements aged under natural conditions showed macroscopically visible signs of ageing in the form of cracks (see Fig. 1) and discolouration (sample: $L^*a^*b^*$ total colour difference $\Delta E = 8.95$) after 12 months of exposure. Signs of embrittlement of the PUR-based coating were detected by a significant increase in the glass transition temperature T_g from 74.1°C to 88.3°C ($\Delta T = +14\text{ K}$) and an increase in the Martens hardness from 65.4 MPa to 77.3 MPa ($\Delta HM = +12\text{ MPa}$). The contact angle compared to water decreased by -23.4° over the same period, indicating a higher hydrophilicity probably as a result of the formation of polar hydroxyl or carboxyl groups through oxidation and hydrolysis reactions.

During the artificial ageing tests, it was found that the environmental parameters of temperature and relative humidity on their own only caused minor visible and measurable material changes to raw materials and decorative elements (sample: $L^*a^*b^*$ total colour difference ΔE after 240 h heat storage at $100^\circ\text{C} = 0.97$). In contrast, tests in which radiation was used as an isolated parameter provoked visible damage patterns depending on the irradiated spectrum (wavelength or UV content) and the irradiance. Observed damages were in detail a yellowing and embrittlement, roughening of the coating surface, and a decrease in the water contact angle between

sich in Vergilbung und Versprödung, der Aufrauung der Beschichtungsoberfläche bis hin zu einer Abnahme des Wasserkontaktwinkels zwischen -4° und -30° äußerten. In Versuchsreihen mit kombinierten Umweltparametern (Bestrahlung, Temperatur und/oder rel. Luftfeuchtigkeit) konnte eine Verstärkung der strahlungsinduzierten Alterungserscheinungen bei höheren Temperaturen nachvollzogen werden (Abnahme des Wasserkontaktwinkels zwischen -7° und -29°).

Korrelationsanalysen zeigten sowohl in natürlichen als auch in künstlichen Belastungsversuchen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem makroskopisch sichtbaren Fehlerbild der Verfärbung (v. a. Vergilbung a^*) und den messtechnisch erfassbaren Materialeigenschaften Kontaktwinkel, Martenshärte und Glasübergangstemperatur in Abhängigkeit von der Belastungsdauer. Dies erlaubte eine Prüfmethodik abzuleiten, die die im Verlauf einer Umweltsimulationsprüfung auftretenden makroskopischen Schadbilder bereits vor Ablauf der vollständigen Prüfdauer messtechnisch erfasst und abbildet.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Versagenswahrscheinlichkeit der Zierelemente signifikant von der Lackschichtdicke auf den Furnierzierelementen abhängt.

-4° und -30° . In a series of experiments with combined environmental parameters (radiation, temperature, and/or relative humidity), an intensification of the radiation-induced ageing effects at higher temperatures could be observed (decrease in the water contact angle between -7° and -29°).

Correlation analyses showed a significant correlation between the macroscopically visible defect pattern of discolouration (especially the yellowing parameter a^*) and the measurable material properties of contact angle, Martens hardness, and glass transition temperature as a function of exposure time for both in natural and in artificial exposure tests. This allowed a test methodology to be derived that records and maps the macroscopic damage patterns that occur during an environmental simulation test using measurement technology before the test has been completed.

Furthermore, it was shown that the failure probability of the decorative elements depends significantly on the thickness of the varnish layer on the veneer decorative elements.