

Finite Elemente Berechnungen von geklebten Frontscheiben im Automobilbau und Structural Glazing Elementen im Bauwesen – ein Vergleich

Dipl.-Ing. Thorsten Böger*, Dr.-Ing. Gerhard Schmöller*

Abstract

Die Kleb- und Dichttechnik wird aufgrund zahlreicher technologischer und wirtschaftlicher Vorteile und der ständigen Weiterentwicklung der Klebstoffe in zunehmendem Umfang sowohl im Maschinenbau, als auch im Bauwesen eingesetzt.

Anhand des Beispiels einer geklebten Frontscheibe im Automobilbau (Direktverglasung) werden aus Sicht des Maschinenbauers Möglichkeiten zur Übertragung der mit FE-Simulationen von geklebten Bauteilen gemachten Erfahrungen auf ähnliche Anwendungsfälle im Bauwesen (Structural Glazing) zur Diskussion angeboten.

Die Direktverglasung ist eine für den Automobilbau typische klebtechnische Anwendung, die seit mehr als 20 Jahren erfolgreich eingesetzt wird. Die Vorteile der mittels Polyurethan-Klebstoffe in die tragende Struktur der Karosserie integrierte Frontscheibe sind neben einer um ca. 15 bis 30% erhöhten Torsionssteifigkeit die kombinierte Dichtwirkung und die Unterbrechung der akustischen Kette im Fahrbetrieb.

Die Bauteilauslegung erfolgt heute weitgehend mittels FEM. Simulationen zum statischen, thermischen, dynamischen und akustischen Verhalten und daraus ableitbare konstruktive Verbesserungen (Klebschichtdicke, Materialeigenschaften, usw.) können virtuell durchgeführt werden und helfen so, eine Direktverglasung mit massgeschneiderten Eigenschaften herzustellen. Die Kennwertermittlung und die Charakterisierung der Verbundeigenschaften erfolgt an genormten Kleinteilproben und bauteilähnlichen Prüfkörpern [M1].

Im Bauwesen wird seit einigen Jahren das Structural Glazing europaweit erfolgreich eingesetzt. Die geklebten Ganzglasfassaden in zwei- und vierseitiger Ausführung bieten dem Architekten grosse gestalterische Freiheiten zur Berücksichtigung des Lichts ohne direkt sichtbare tragende Strukturen [B1].

Aus Sicherheitsgründen wird in Deutschland ab einer Traufhöhe von 8 m eine mechanische Auffangvorrichtung vorgesehen, die bei Versagen einer Klebverbindung die Glasscheibe gegen Absturz sichert [R1]. Die eingesetzten Klebstoffe sind aufgrund ihrer hervorragenden Medienbeständigkeit durchweg Silicone. Zur Dimensionierung der Klebverbindungen kommen analytische Ansätze zum Tragen, die auf langjährigen Erfahrungen beruhen. Auch hier kommen genormte und bauteilähnliche Prüfkörper zum Einsatz, mit denen die mechanischen Eigenschaften und die Beständigkeiten der Silicone gegen klimatische Einflüsse charakterisiert werden [E1, E2, E3].

Die Parallelen zur Direktverglasung werden beim Betrachten der beteiligten Werkstoffe und den Belastungsszenarien deutlich:

Der Werkstoff Glas zeichnet sich durch seine gute Benetzungsfähigkeit (O-H-Gruppen) aus, die gute Adhäsionseigenschaften (insbesondere bei Siliconen) bewirkt. Blechseitig werden die Klebstoffe auf unlackierte, lackierte bzw. eloxierte Blechoberflächen (Stahl, Aluminiumlegierungen) aufgetragen. Entsprechende experimentelle Nachweise zur Haftfestigkeit der Klebstoffe im Peel-Versuch weisen die Verträglichkeit zwischen den Klebstoffen und den Oberflächen der Metalle nach [M2, E1].

*immersive SIM engineering GmbH, Frankfurter Ring 81, 80807 München

Als Lastszenarien werden in beiden Fällen unter anderem Winddruck bzw –sog, thermische Effekte und das Eigengewicht betrachtet. Im Structural Glazing existieren auch Lösungen mit mechanischer Ableitung des Eigengewichts der Glasscheiben in die Stützstruktur, so dass in diesen Fällen die Silicon-Klebschichten keine ständige statische Scherbelastung erfahren [11].

Im folgenden werden die Methoden zur FE-Simulation von geklebten Frontscheiben und Parallelen zum Structural Glazing beschrieben.

Finite Element Analyses of adhesively bonded windshields in automotive engineering and structural glazing elements in civil engineering – a comparison

Dipl.-Ing. Thorsten Böger*, Dr.-Ing. Gerhard Schmöller*

Abstract

Due to numerous technologic and economic advantages and constant advancement adhesive and sealing technologies are used in increasing extent both in mechanical engineering and civil engineering.

Taking adhesively bonded windshields (direct glazing) as an example of automotive industries, the possibilities of transferring practical knowledge with finite element simulations of adhesively bonded parts onto similar applications of civil engineering (structural glazing) will be discussed, spoken from the mechanical engineer's own experience.

In automotive industries, direct glazing is a typical application of adhesive technology being successfully in use for more than 20 years. Apart from an increased torsional stiffness (about 15 to 30%) the advantages of windshields being integrated into the car body are combined sealing functions and the interruption of the acoustic chain under driving conditions.

Today, FEA is a standard tool for technical design layout. Simulating the static, thermal, dynamic and acoustic behaviour of the structure leads to improved constructions (thickness of adhesive layer, material properties, etc.) on the basis of purely virtual parts and yields direct glazing concepts with features tailored to technical demands. For experimental characterization of adhesive and compound properties standardized methods are used [M1].

In civil engineering structural glazing is a success in Europe for a couple of years. The adhesively bonded facades completely made of glass (two- and four-sided concepts) allow the architect great creative latitude for light design without directly visible structural parts [B1].

For safety reasons, starting from a building height of 8 m mechanical jigs keeping the glass in place in case of adhesive failure are prescribed in Germany [R1]. Only silicones are used as adhesives due to their outstanding chemical resistance. Dimensioning is done with analytical formulae on the basis of long time know how and experience. As above, standardized methods for experimental determination of mechanical properties and climatical durability of the silicones are used [E1, E2, E3].

Parallels with direct glazing become clear regarding the materials and loading conditions involved:

Glass as engineering material features good wetting behaviour especially with silicones (O-H groups at its surface), resulting in well-defined adhesion properties. The adhesives are jointed to uncoated, coated or anodized metallic surfaces (steel, aluminum alloys), respectively. According to this situation, suitable experimental tests (peel test, etc.) are performed to ensure required bond strength [M2, E1].

Loading conditions to be considered are in both cases e.g. wind loads (pressure, suction), thermal effects and selfweight. Structural glazing solutions exist with mechanical devices absorbing the selfweight of the glass and thus resulting in adhesive layers free from permanent static shear stresses [I1].

*immersive SIM engineering GmbH, Frankfurter Ring 81, 80807 München

In the following paragraphs, methods for FE simulations of adhesively bonded windshields and parallels to structural glazing concerns will be described.