

ENTWICKLUNG EINER GLASDECKELPRODUKTION IM LFI-VERFAHREN DES PKW'S

Alexandru Lucian GABOR¹, Iosif TEMPEA²

Lucrarea prezintă studiul posibilităților de înlocuire a plafonului de sticla, utilizat în construcția de automobile, cu unul din material plastic transparent, obținut prin tehnica Long-Fibre-Injection (LFI). Analiza a fost realizată pe unul din modelele de automobil SMART.

Partea de analiză este destinată încercărilor de optimizare a procesului de turnare a maselor plastice.

Deoarece este vorba despre un proces nou, fără a se baza pe experiența oferită de alte proiecte existente, lucrarea de față poate fi considerată ca bază pentru proiectele viitoare în domeniu.

The paper presents a study of possibilities of replacement of a car glass ceiling with a plastic transparent material one, by Long-Fibre-Injection (LFI) technique obtained. The analyze was made with a SMART car model.

The research part presents the optimization trials of plastics moulding process.

Because is a new method, without of others past investigation, this paper may be considered a groundwork for the future projects in this area.

In der vorliegenden Arbeit soll geklärt werden, ob es möglich ist, ein Glasschiebedach, wie es in vielen Pkws verwendet wird, im LFI-Verfahren herzustellen. Diese Machbarkeitsanalyse wird am Glasdeckel des SMART durchgeführt.

Am Anfang stehen konstruktive Aspekte im Vordergrund. Diese sind von essentieller Bedeutung, da mit der Konstruktion des Werkzeugs die Grundlagen für die Fertigung gelegt werden.

Im Anschluß wird die Optimierung des Schäumprozesses durchgeführt und erläutert. Das Hinterschäumen von Glasdeckeln im LFI-Verfahren stellt ein völlig neues Konzept dar. Da keine Erfahrungen aus Vorgängerprojekten vorlagen, versteht sich diese Arbeit als Grundlage für Folgeprojekte.

Keywords: Long-Fibre-Injection (LFI) - Verfahren, PUR (Poyurethan), Schäumprozeß, Glasdeckel

¹ Drd, Faculty of Mechanisms Theory and Robotics, University "Politehnica" of Bucharest, ROMANIA

² Prof., Ing., Faculty of Mechanisms Theory and Robotics, University "Politehnica" of Bucharest, ROMANIA

Einleitung

Durch die Optimierung des Schäumprozesses gelang es einen stabilen Verfahrensablauf zu realisieren.

An diesen Versuchsteilen wurden Wölbungs- und Steifigkeitsuntersuchungen sowie Prüfungen in Hinblick auf die Klimabeständigkeit durchgeführt und die Ergebnisse der Prüfungen erläutert.

Den Abschluß bildet ein Ausblick über die weitere Vorgehensweise sowie Potentiale, die eine Produktion von LFI hinterschäumten Glasscheiben bietet.

1. Allgemeines

Der Sammelbegriff Polyurethan steht für eine Gruppe von unterschiedlichen Polymeren, die völlig unterschiedliche Zusammensetzungen und auch Eigenschaften haben können. Die sogenannte Urethanbindung (Abb.1) ist das gemeinsame Erkennungszeichen dieser Gruppe von Polymeren.

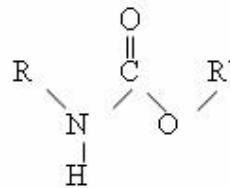


Abb. 1 Urethanbindung [1]

Urethan-Bindungen werden durch eine Additionsreaktion zwischen einer Isocyanat- und einer Alkoholgruppe gebildet.

Die Modifikationen der Polyurethane hängen stark von den jeweiligen Einsatzgebieten und gewünschten Eigenschaften der Polymere ab. Verzweigtes PUR wird je nach Dichte der 'Knotenpunkte' als Weich- oder Hartschaum eingesetzt. Die Tabelle 1 gibt einen groben Überblick über die möglichen Einsatzgebiete in Abhängigkeit von den jeweiligen Strukturmerkmalen [1].

Tabelle 1
Übersicht über die Einsatzgebiete von PUR [1]

Strukturmerkmal	PUR-Typen	Anwendungsbereiche
Linear	Thermoplaste Elastomere PUR-Kautschuk Gießelastomere	Hochwertige Chemiewerkstoffe für Konstruktionsteile Präzise Formteile aus elastischem Material allg. Maschinenbau Fahrzeugbau Verschleiß- und Korrosionsschutz Schalldämmung

Leicht verzweigt	Flexible und semiflexible Schäume	Polster, Matratzen, Autositze Dichtungs- und Filtermaterial in Belüftungssystemen Verpackungsmaterial Wärmedämmung
Verzweigt	Beschichtungen	Poröse Materialien und Kunstleder Textilausrüster Lederausrüster Hochglänzende, abriebfeste Papier- und Kartonbeschichtungen Lebensmittelverpackungspapier und Lebensmittelkartons
Stark verzweigt	Feste Schäume (Hartschaumstoffe)	Wärme- und Kälteisolierung

Die PUR Eigenschaften hängen stark von den Eigenschaften der einzelnen Edukte ab. Daher ist es wichtig schon bei der Wahl der Ausgangsstoffe darauf zu achten, welche gewünschten Eigenschaften das Produkt einmal haben soll. Mit anderen Worten bedeutet dies, daß für jeden Anwendungsbereich ein anderes Polyurethan 'modelliert' werden kann.

Ein gezieltes Einbringen von Blockcopolymeren in eine Polyurethanmatrix macht es möglich, mittels sehr flexibler Ketten einen weichen Kunststoff herzustellen. Einen Hartschau erhält man dagegen durch den Einbau von kurzkettigen, starren Polymeren.

Als wichtige physikalische Eigenschaften von PUR sind zu nennen:

- ihre Gummielastizität;
- ihre gute Temperaturbeständigkeit (Hartschaumstoffe: -200 ... +130 °C);
- ihre Resistenz gegenüber verdünnten Säuren und Basen;
- Polyurethan ist im ausreagierten Zustand nahezu unbedenklich in Hinblick auf mögliche schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Aufgrund des letzten Merkmals wird PUR in den letzten Jahren verstärkt als Beschichtungen von Lebensmittelpapier bzw. Lebensmittelkartons eingesetzt und findet auch in der heutigen Biomedizin Anwendung [1].

Unter Schäumen versteht man ein Verfahren zur Herstellung von Kunststoffen mit einer großporigen schaumartigen Struktur. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Schaumkunststoffen:

- Kunststoffe mit einer gleichmäßigen Zellstruktur;
- Kunststoffe, die einen doppelten Aufbau besitzen (der Kern ist geschäumt und die Randzonen besitzen einen kompakten bzw. ungeschäumten Aufbau). Diese Schäume werden als Struktur- bzw. Integralschäume bezeichnet.

2. LFI-Verfahren

Die 'low density' SRIM-Technologie (SRIM = Structural Reaction Injektion Moulding) wird allgemein als eine ausgereifte Technologie betrachtet, die gegenwärtig in vielfältigen Anwendungen für die Automobilindustrie zum Einsatz kommt.

Das wohl am weitesten verbreitete Verfahren ist das Einlegen einer dünnen Glasfasermatte in eine Form, das Schließen der Form und dem anschließenden Füllen mit einem geeigneten 2-Komponenten Schaumsystem. Während der Aushärtung werden die Glasfasern gut in die Polymermatrix eingebettet und bilden so den Verbundwerkstoff. Das ausgehärtete Teil wird dann entformt und muß noch in mehreren Schritten nachgearbeitet werden.

Die Technologie ist bestens geeignet, um ein festes und zugleich leichtes Material mit guten Dauereigenschaften zu erreichen.

Vor nicht allzu langer Zeit haben Maschinenhersteller angefangen, neue Verfahren und Technologien zur Automatisierung zu entwickeln [2]

Durch die Vereinigung einer Vorrichtung zum Ablängen der Glasfasern, die als Strang zugeführt werden, mit einem Mischkopf zur Herstellung von PUR-Schäumen ist es möglich geworden, das Glasfaser-Schaum-Gemisch gleichzeitig in die Form zu bringen (s. Abb. 2). Das LFI-Verfahren vermeidet so das Einlegen der Glasmatten [2].

Weiterhin ist es möglich, die Glasfaserlänge nach Wunsch zu variieren (Abb. 3).

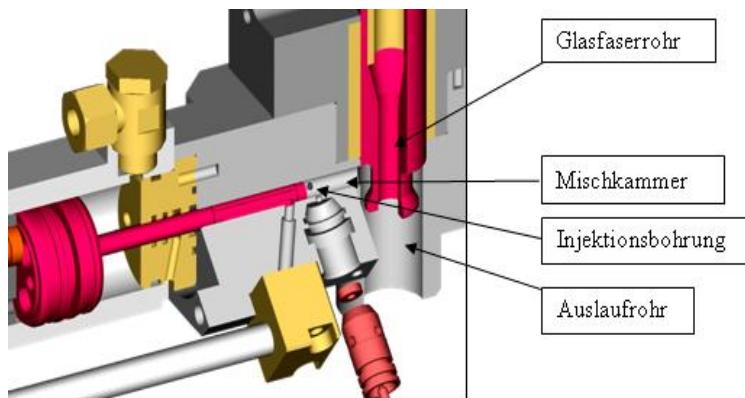


Abb. 2 Schematische Darstellung des LFI-Mischkopfes [3]

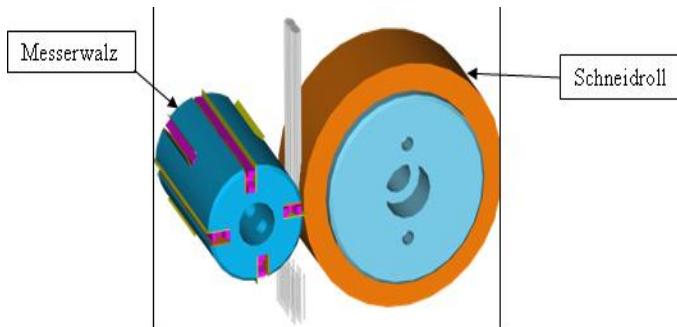


Abb. 3 Schematische Darstellung des Glasfaser-Schneidwerkes [3]

Das LFI-Verfahren ist für den Eintrag in eine offene Form entwickelt worden und man muß deshalb ein System auswählen, das ebenfalls für das Einschäumen in offene Formen entwickelt wurde. Für das LFI-Verfahren ist es deshalb notwendig, ein PUR-System mit verlängerter Cremezeit (Startzeit) einzusetzen, damit der Roboter die Zeit hat, aus der Form herauszufahren und die Form geschlossen werden kann, bevor der Schaum zu stark expandiert.

3. Aufbau eines Glasdeckels

Der Glasdeckel besteht aus einer Glasscheibe, die mit diversen Einlegern verstärkt ist und mit einem Polyurethansystem angeschäumt wird. Der Herstellungsprozeß beginnt mit der Auftragung eines Primers. Der Primer ist nichts anderes als ein Haftvermittler zwischen Glasscheibe und PUR. Dieser Bearbeitungsschritt ist aus verschiedenen Gründen sehr wichtig. Zum einen wird die Rohglasscheibe aktiviert (haftungsvorbereitende Grundierung), und zum anderen wird dadurch eine gute Verbindung zwischen PUR und Scheibe gewährleistet.

Anschließend wird das geprimierte Rohglas in das Werkzeugoberteil und die Federstahleinleger in das Werkzeugunterteil eingelegt. Der Werker kann nun das Werkzeug freigeben.

Das Isocyanat-Polyol-Gemisch wird über einen Anguß injiziert. Unmittelbar nach der Formfüllung beginnt die exotherme Reaktion der PUR Komponenten.

Als Folge der exothermen Reaktion (ca. 120 °C) dehnt sich der Stahleinleger aus. Zeitgleich beginnt aber auch das PUR zu schrumpfen.

Die entgegengesetzte Schrumpf- bzw. Wärmeausdehnungsrichtung der beiden Komponenten hat zur Folge, daß innerhalb des PUR-Stahleinlegerverbundes Spannungen entstehen.

Nach der Reaktionszeit und der Entformung aus dem Werkzeug stellt sich folgender Effekt ein ('Bimalleffekt').

Da dieser Effekt keine Kontinuität aufweist, ist ein Vorhalten der Werkzeugdaten nicht zielführend.

In der Praxis werden jedoch der hintere und vordere Einleger 'flacher' gefertigt, um diesem Effekt entgegenzuwirken. Der Glasdeckel wird bei Bedarf nach dem Erkalten mit Hilfe einer Wölbungsbiegevorrichtung in Nominallage gebogen.

4. Umsetzen der Glasdeckelfertigung auf das LFI-Verfahren

Die primäre Funktion des Einlegers ist es, dem Glasdeckel die erforderliche Steifigkeit zu verleihen. Im LFI-Verfahren übernimmt diesen Part das PUR-Langglasfaser-Gemisch.

Weiterhin stellt der Einleger aber auch Anschraubpunkte des Glasdeckels an der Karosserie, Anschraubpunkte für Glasdeckelstellmotor sowie Einstellpunkte zur Anpassung der Glasdeckel untereinander dar.

Diese Verschraubpunkte werden durch mehrere kleinere Einleger dargestellt.

Als Einleger werden Drehteile angefertigt, die mit Magneten am Werkzeugeberteil befestigt werden und nach dem Schäumprozeß im PUR verbleiben (Abb. 4):



Abb. 4 Einlegervorlage

Durch die Substitution des ganzflächigen Einlegers durch partielle Einleger und die geringere Schwindung des faserverstärkten PUR (Schwindung faserverstärktes PUR im LFI-Verfahren $\approx 0,16\%$ [4]) erhofft man sich den 'Bimetalleffekt' zu eliminieren bzw. stark zu reduzieren.

5. Optimierung der Einstellungen

Im Laufe des Optimierungsprozesses zeigt sich, daß die 4 Dome der Vitolelemente das Hauptproblem darstellen. Die Dome werden nicht vollständig

vom PUR ausgeformt. Der Grund hierfür sind Luftblasen, die nicht aus den Domen entweichen können. Dieses Problem läßt sich trotz Änderungen der Glasfasermenge, Glasfaserlängen sowie der PUR – Eintragsmenge nicht eliminieren.

Als Lösung für dieses Problem werden in das Werkzeugoberteil je zwei Bohrungen pro Dom eingebracht. Diese Bohrungen fungieren als Steiger und sorgen somit für eine vollständige Füllung der Dome mit PUR (Abb. 5).

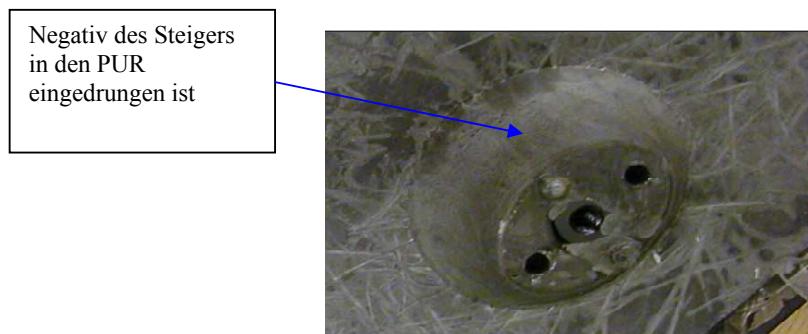


Abb. 5 Dome der Vitoelemente mit Steigern

Ein Aspekt in der Zielsetzung, den Glasdeckel des SMART im LFI-Verfahren zu fertigen liegt in der Gewichts- u. Kostenreduktion des Glasdeckels. Die Gewichtsreduktion spielt bei sämtlichen Automobilherstellern eine bedeutende Rolle, da sie sich direkt auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt.

Aus diesen Grund wird exemplarisch ein Serienglasdeckel und ein Glasdeckel der im LFI-Verfahren gefertigt wurde, gewogen (Tabelle 2).

Tabelle 2

Gegenüberstellung Gewicht Serienglasdeckel / Gewicht LFI-Glasdeckel

	Gewicht Einleger (kg)	Gewicht Glasdeckel (kg)
Serienglasdeckel	2,9	7,39
LFI Glasdeckel	0,48	4,66
Differenz	2,42	2,73

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß der Glasdeckel der im LFI-Verfahren gefertigt wurde, um 2,7 kg leichter ist. Die Gewichtsdifferenz der Einleger ist geringer als die Gewichtsdifferenz der Glasdeckel.

Dies läßt darauf schließen, daß die 'Aufdickung' der PUR-Schicht in weiten Bereichen des LFI hinterschäumten Glasdeckels durch das Aufschäumen des Materials mehr als kompensiert wird (Tabelle 3).

Tabelle 3

Kostenvergleich ganzflächiger Einleger zu partiellen Einlegern [5]

	ganzflächiger Einleger	partielle Einleger
Kosten [€]	15	6,33*

* Gesamtpreis für einen hinterschäumten Glasdeckel
 (12 Einleger · 0,45 € + 0,93 € für 0,32 kg)

Es sind deutlich die Vorteile der partiellen Einleger zu erkennen. Das Gewicht des LFI hinterschäumten Glasdeckels beträgt 63 %, die Kosten 42 % des ganzflächigen Einlegers.

Abschlussbetrachtung/Aussicht

Das im Rahmen der Arbeit erläuterte Verfahren zeigt, daß es möglich ist, einen Glasdeckel im LFI-Verfahren zu hinterschäumen. Die aufgetretenen Probleme während der Prüfungen lassen aber darauf schließen, daß weiterführende Projekte folgen müssen.

Bei Folgeprojekten sollten die folgenden Ideen bzw. Vorschläge berücksichtigt werden:

- Verbesserung des Glas-PUR-Haftverbundes
- Verwendung eines offenzelligen Schaumsystems zur Verbesserung der Oberfläche sowie Vermeidung der Delamination im Laufe einer Hochtemperaturlagerung.
- Verbesserung der Biegesteifigkeit durch Erhöhung des Glasfasergehaltes bzw. weiteres Aufdicken der PUR-Schicht.
- Verbessern der Strackwerte durch Vorhalten der Glasscheibe seitens des Glasherstellers bzw. Fertigung der Rohglasscheiben auf Nominalmaß und Unterwölbung der Glasscheiben durch Vakuum.

LITERATUR

- [1] *Polyurethantechnik* 1991: Werkstoff mit vielen Gesichtern, Erschienen: Verlag moderne Industrie, ISBN: 3-478-93100-2
- [2] *Polyurethantechnik* 1998: Zukunftsorientierte PUR-Anwendungen im Automobilbau / Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft für Kunststofftechnik, Erschienen: Düsseldorf : VDI-Verl., 1998, Umfang: 317 S. : Ill., graph. Darst. ; 21 cm Schriftenreihe: Kunststofftechnik, ISBN: 3-18-234210
- [3] *Alexandru Lucian Gabor*, „Erstellung eines Recycling-Konzepts – Aufbereitung von Verschnittresten und Weiterverwendung in der Automobiltechnik“, Projektarbeit, ArvinMeritor GmbH, Germania, 2004
- [4] *Alexandru Lucian Gabor*, „Contribuții privind managementul și procesarea reciclařii materialelor”, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, 2007
- [5] *Tabellenbuch Metall*: 39 überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Europa Lehrmittel; Nourney, Vollmer GmbH & Co., ISBN: 3-8085-1109-5