

Polyurethantechnologie am Beispiel der Serienproduktion von Komposit-Blattfedern im RTM-Verfahren

Flexibilität und Festigkeit für beständige Leistung

Blattfedern für den Einsatz in verschiedensten Fahrzeugen werden traditionell aus Stahl hergestellt. Da das Thema Gewicht im Fahrzeugbau stetig an Bedeutung gewinnt, werden allerdings Leichtbaulösungen immer attraktiver. Komposit-Materialien bieten sich hier an, doch ist es ein weiter Weg vom Laborprototypen bis hin zur Serienproduktion.

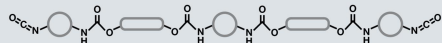
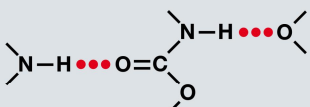
Wesentlicher Bestandteil eines Komposits ist neben der Faser das Harz. Ihm kommen die Aufgaben Schutz und Kraftübertragung zwischen den Fasern zu. Dazu muss es neben den mechanischen Kennwerten vor allem die Eigenschaft bieten, in jeder Situation gut an den Fasern zu haften und eine hohe Beständigkeit gegenüber den verschiedensten Alterungseinflüssen zu besitzen.

Im Anwendungsfall einer Feder für den Automobilbau sind dabei natürlich besonders die mechanische Dauerfestigkeit, die Dehnung und die Beständigkeit gegenüber flüssigen Medien wie Wasser oder Ölen wichtig.

Polyurethane bieten großen Gestaltungsspielraum

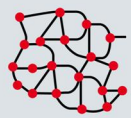
Eine ideale Basis bieten hier die Polyurethane. Die Polyurethanchemie ist nicht nur robust, sondern auch sehr flexibel. So gibt es eine Fülle von Basisrohstoffen, mit denen sich auch komplexe Eigenschaftsprofile maßschneidern lassen. Analysiert man die Aufgabe „Feder“ in Zusammenhang mit „Serienfertigung“ werden vor allem die Punkte Dauerfestigkeit und Zykluszeit zentral für die Auswahl des passenden Harzsystems.

Polyurethane besitzen neben der rein chemischen Vernetzung sehr starke physikalische Sekundärwechselwirkungen, die das Material flexibilisieren, ohne es zu schwächen. Durch die geeignete Auswahl der Harzkomponenten kann man beide Anteile gezielt variieren, um so eine besonders hohe Zähigkeit und damit Langlebigkeit zu erreichen. Trotzdem ist es möglich, die hohen mechanischen Kennwerte und Temperaturbeständigkeiten vor allem chemisch vernetzter Systeme beizubehalten. Zentral ist hierbei insbesondere, dass viele der Nachteile der rein physikalisch vernetzenden, thermoplastischen Systeme wie zum Beispiel Kriechen unter Temperaturbelastung oder Feuchteanfälligkeit fast vollständig vermieden werden können.

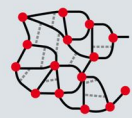
Rohstoff-Baukasten		Polyurethan-Bindung	
			
Harz: Polyol-Mischung	Härter: Isocyanate	Primärnetzwerk: Urethane – chemisch fixiert	Sekundärnetzwerk Wasserstoff-Brücken – „dynamisch selbstheilend“
<ul style="list-style-type: none"> > Funktionalität > Flexibilität > Polarität 	<ul style="list-style-type: none"> > Funktionalität > Reaktivität > Viskosität 		

Netzwerkeigenschaften


schematischer Vergleich



Epoxid-
Duroplast



Poyurethan-
Duroplast



Polyamid-
Thermoplast

Grafiken 1, 2 und 3: Baukasten für das Loctite MAX 2 Matrixharz von Henkel.

Für die Anwendung der Feder sind hohe Faservolumenanteile notwendig, daher muss das Harz so designt werden, dass es auch dichte Faserstapel schnell und gut durchdringt. Dazu werden aus der Toolbox vor allem Komponenten mit niedriger Viskosität und einer an die Fasern angepasste Polarität verwendet. So wird sichergestellt, dass auch bei kürzesten Injektionszeiten keine Fehlstellen induziert werden und eine vollständige Faser-Matrixhaftung aufgebaut werden kann.

Hohe Beständigkeit gegenüber Außeneinflüssen

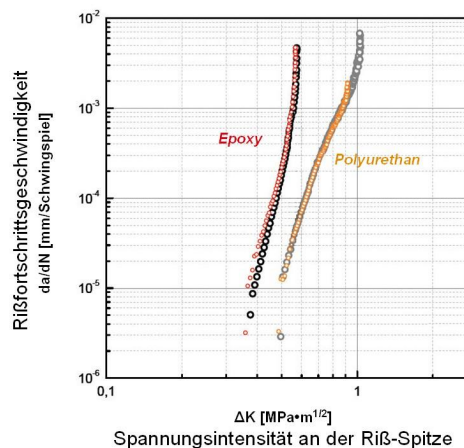
Die Verwendung niedrigviskoser Systeme ermöglicht gleichzeitig auch die Erfüllung eines weiteren wichtigen Kriteriums: Die Stabilität gegenüber Medien wie Wasser oder Öl. Hier ist es zum einen wichtig, dass die Komponenten selbst schon gute Beständigkeiten aufweisen. Zum anderen kann die Beständigkeit durch eine hohe

chemische Vernetzungsdichte, die Quellprozesse limitiert, noch verstärkt werden. Hier erweist sich als Vorteil, dass die niedrigviskosen Formulierungsbestandteile – sind sie richtig gewählt – auch gleichzeitig eine hohe Vernetzungsdichte erzeugen können.

Nebenbei wird dadurch auch die maximale Anwendungstemperatur gesteigert, wobei einer Versprödung sehr effektiv durch die abgestimmte Flexibilisierung über die physikalischen Wechselwirkungen der Urethangruppen entgegengewirkt werden kann.

Verdeutlichen lässt sich dieser Effekt sehr einfach mit Risswachstumsexperimenten. Vergleicht man einen vorgeschädigten Prüfkörper aus dem Polyurethanharz Loctite MAX 2 mit einem typischen Epoxid ähnlicher Festigkeit und Einsatztemperatur, so beginnt ein Risswachstum erst bei wesentlich höheren Lasten und ist dabei zudem noch extrem verlangsamt. Dieser Vorteil bleibt auch dann erhalten, wenn die Proben unter Wasser einer extremen Feuchtebelastung ausgesetzt werden. Dies zeigt sehr deutlich, dass für Polyurethane die Zähigkeit als materialintrinsisch und steuerbar angesehen werden kann und daher im Einklang mit den Größen Festigkeit und Belastungsresistenz steht.

Diese ausgezeichnete Zähigkeit wirkt sich zudem positiv auf das Ermüdungsverhalten unter Last aus. Eine Blattfeder beispielsweise ist im Fahrbetrieb eines Automobils ständig dynamischen Belastungen ausgesetzt, so dass flexible Materialien mit hoher Ermüdungstoleranz zu einer deutlichen Verlängerung der Lebensdauer des Bauteils beitragen.



Grafik 4: Typisches Bild für das Risswachstum eines Henkel Polyurethans im Vergleich zu einem Referenz-Epoxid.

Neben den Materialeigenschaften an sich ist auch die Geschwindigkeit von Bedeutung, mit der diese im Prozess realisierbar sind. Die relevanten Größen sind hier im wesentlichen Zeit und Temperatur. Die Polyurethanvernetzung zeichnet sich generell durch zwei Besonderheiten aus, die eine herausragende Prozesskontrolle erlauben: Zum einen ist die Reaktionswärme sehr niedrig, es besteht also keine Gefahr, dass hochbeschleunigte Formulierungen unkontrolliert abreagieren. Zum anderen ist durch Zugabe von Beschleunigern eine feindosierte Geschwindigkeitsabstimmung möglich.

Je nach gewünschtem Prozess- und Eigenschaftsfenster kann man maximale Geschwindigkeiten bis zur Entformung sowohl zum Beispiel bei 70 Grad Celsius Form- und damit Reaktionstemperatur erreichen, wie auch beispielsweise bei 110 Grad Celsius. Dies geschieht einfach durch Anpassen der zugesetzten Beschleunigermenge. So wäre es zum Beispiel möglich, mit demselben Harzsystem thermisch höher beanspruchte Strukturbauteile ebenso zügig zu produzieren wie Außenhautbauteile, bei denen es auf eine hohe Oberflächengüte ankommt. Für jeden Prozess und jedes Bauteil-Design lässt sich so die mit dem Harzsystem minimale Zykluszeit optimal einstellen.

Im Falle der Feder ist das System auf gute Tränkung, hohe Dehnung und extreme Zyklenbeständigkeit eingestellt und bietet gleichzeitig eine ausreichende thermische Belastbarkeit unter Feuchtebedingungen.

Serienproduktion von Komposit-Blattfedern

Für ein finales Komposit-Bauteil wie zum Beispiel die Blattfeder ist zwar das Harz ein zentraler Bestandteil, mindestens ebenso wichtig ist jedoch neben dem Design auch die Gesamtauslegung, welche schon den späteren Produktionsprozess berücksichtigen muss. Nur so wird das Bauteil nicht nur seiner Funktion gerecht, sondern kann auch effizient hergestellt werden.

Für die Querblattfeder sind Schlüsselgrößen dabei zum einen Randparameter wie der zur Verfügung stehende Bauraum und das zu erzielende Eigenschaftsprofil in Hinblick auf Steifigkeit oder Lebensdauer. Gleichzeitig spielen Prozessparameter wie Zykluszeiten oder Härtingsbedingungen eine zentrale Rolle. Ganz grundsätzlich gilt es, ökonomisch und technisch einen Kundennutzen zu realisieren. Technisch erreicht die neue Komposit-Feder mit circa 6 Kilogramm rund 9 Kilogramm weniger Gewicht als die entsprechende Stahlfeder für diese Anwendung – und damit eine Gewichtseinsparung von bis zu 65 Prozent. Ökonomisch wird durch einen effizienten Prozess der Spielraum erhöht.

Wichtig für die Implementierung einer Produktion von Großserienteilen ist die Integration aller dieser wesentlichen Bereiche in eine reibungslos ineinandergreifende Prozesskette. Benteler-SGL hat hier mit der Entwicklung und Kommerzialisierung einer Querblattfeder in RTM-Technologie auf verschiedenen Feldern Neuland betreten.



Bilder 1 und 2: Komposit-Blattfeder aus dem Fertigungsprozess sowie in Einbaulage.

Erster Schritt in Hinblick auf eine garantiert konstante Produktqualität ist das automatisierte Preforming. Das UD-Glasfasermaterial wird Lage für Lage im laufenden Prozess auf Qualität geprüft und gestapelt in Form gebracht. Für jede einzelne Feder kann so garantiert werden, dass die Materialparameter für die Feder auch bei leichten Schwankungen im Ausgangsmaterial immer der Spezifikation entsprechen.

Die Imprägnierung des Preforms erfolgt in einer Shuttle-Pressen parallel für mehrere Blattfedern als Block in Mehrfachkavitäten. Das System ist so konzipiert, dass ein Produktionsvolumen von über 100.000 Stück pro Jahr realisiert werden kann. Wesentlich ist hierfür neben den oben beschriebenen Harzparametern auch das entsprechende Formendesign und Handling-Konzept, wobei die Blattfedern nach Entnahme aus den Kavitäten vereinzelt werden.

Letzte Schritte im Prozess sind eine Wärmebehandlung, um die gleichmäßige Aushärtung aller Federn zu gewährleisten, sowie eine abschließende mechanische Kontrolle, die das Aufspüren eventuell versteckter Defekte sicherstellt.

Durch einen hohen Automatisierungsgrad, breite Kompetenz in der Prozessauslegung und eine kontinuierliche Qualitätskontrolle in Verbindung mit einem funktional stabilen und prozesssicheren Harz kann auf diese Weise eine effiziente Produktionskette gewährleistet werden.

Ausblick

Im Vorhergehenden wurden die prinzipiellen Möglichkeiten der Polyurethanharzsysteme sowie der spezifische Einsatzfall der Blattfeder erläutert. Damit sind aber die Möglichkeiten des Polyurethansystems noch lange nicht erschöpft. Die Möglichkeiten des Baukastens lassen eine fast unendliche Kombinationsmöglichkeit von Eigenschaften zu, um spezifische Lösungen maßzuschneidern.

Wichtig für die Zukunft der Komposite wird dabei auf jeden Fall die Kombination und Integration in eine modulare Gesamtlösung sein, sowohl was die Materialien an sich als auch die fertigen Bauteile angeht.

Betrachtet man allein den Einsatz von Komposit-Materialien im Automobilbau, so findet man immer wieder Schnittstellen, an denen verschiedene Materialkombinationen aufeinandertreffen und verbunden werden müssen. Hier muss derzeit viel Zeit aufgebracht werden für Verbindungslösungen, die eine aufwendige Vorbehandlung benötigen. Dank ihrer Vielseitigkeit bieten Polyurethane die Möglichkeit, das Design der Harze so auszurichten, dass intelligente interne Trennmittel direkt mit eingebaut werden. Diese ermöglichen es, dass an der Grenzfläche zur Form sauber getrennt wird, können aber gleichzeitig so gut in das Gesamtsystem integriert werden, dass im Anschluss ein Verkleben oder sogar Lackieren ohne aufwendige Vorbehandlung möglich wird.

GFRP-Prüfsubstrate ungereinigt	Teroson PU 1510 1K mikroverkapseltes PU
Ohne Trennmittel	9,8 MPa 100 %cf
Externes Trennmittel	4,2 MPa 100 %af
Internes Trennmittel	9,5 MPa 100 %scf

Tabelle 1: Komposit-Prüfkörper aus Loctite MAX 2 mit internem Trennmittel im Klebeversuch.

Eine Anwendungslösung wird insbesondere in der Automobilindustrie erst durch die Integration in ein Gesamtpaket vollständig. Henkel arbeitet daher intensiv daran, Harzkomponenten so weiterzuentwickeln, dass sich in das System einfügen lassen und damit dazu beitragen, den Produktionsprozess zu optimieren. Entsprechend bietet Henkel aber auch individuell formulierte Klebstoffe an, so dass eine sichere Integration der unterschiedlichen Bauteil-Materialien im Rahmen moderner Multimaterialkonzepte gewährleistet ist.

Klebstoff	Aushärtungszeit	Aushärtungs-temperatur	Anwendung	Zugscherfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]
Terokal 5055	240	2K Epoxy/RT	Strukturelle Verklebungen	18 – 22	3
Terostat MS 9399	90 – 180	2K SMP/RT	Elastische Verklebungen	2	150
Terolan 1510	0,5	1K PUR/> 85 °C	Strukturelle Verklebungen, schnelle Aushärtung	10 – 14	120
Terolan 1103	2	1K PUR/> 95 °C	Flanschabdichten	4	200
Teromix 6700	120	2K PUR/RT	Strukturelle Verklebungen	13	< 10

Tabelle 2: Henkel Klebstoff-Portfolio für das Verbinden von Kompositen.

Ist das Vision oder Realität? Das heutige Bild zeigt, dass dieser Weg mit Produkten wie Loctite MAX 2 beschriftet werden kann. Die Komponenten sind vorhanden, die Kunst ist es jetzt, dieses Potential für die jeweilige Anwendung auch auszuschöpfen.

Autoren:

Dr. Andreas Ferencz

Manager Polyurethane, verantwortlich für die Entwicklung der Henkel Loctite MAX2 Polyurethane

Henkel AG & Co. KGaA, Adhesive Technologies, Duesseldorf, Germany

Ralph Kießling

Team Leader Center of Competence Leafspring, verantwortlich für Material und Prozessentwicklung der Blattfedern

Benteler SGL Composite Technology GmbH, Ried im Innkreis, Austria

Loctite ist eine eingetragene Marke der Henkel Gruppe mit Schutz in Deutschland und anderen Ländern.

Über Henkel

Henkel ist weltweit mit führenden Marken und Technologien in den drei Geschäftsfeldern Laundry & Home Care, Beauty Care und Adhesive Technologies tätig. Das 1876 gegründete Unternehmen hält mit rund 47.000 Mitarbeitern und bekannten Marken wie Persil, Schwarzkopf oder Loctite global führende Marktpositionen im Konsumenten- und im Industriegeschäft. Im Geschäftsjahr 2013 erzielte Henkel einen Umsatz von 16,4 Mrd. Euro und ein bereinigtes betriebliches Ergebnis von 2,5 Mrd. Euro. Die Vorzugsaktien von Henkel sind im DAX notiert.

Über Benteler-SGL

Die Benteler-SGL GmbH & Co. KG wurde 2008 gegründet und ist ein Gemeinschaftsunternehmen der Benteler Automobiltechnik GmbH, Paderborn, und der SGL Group, Wiesbaden. Hierbei ergänzen sich die Kernkompetenzen der SGL Group bei Materialwissenschaften und carbonfaserbasierten Vorprodukten mit der markt- und ingenieurtechnischen Kompetenz von Benteler als langjähriger Tier 1-Lieferant im Automobilssektor. Anfang 2009 übernahm das Gemeinschaftsunternehmen zusätzlich die Autosparte Composite Technology GmbH in Ried im Innkreis, Österreich, von der Fischer-Gruppe. Seitdem wurde die Fertigung konsequent ausgebaut. Heute arbeiten in Österreich 150 Mitarbeiter bei Benteler-SGL, doppelt so viele wie 2009. Weitere Informationen finden Sie unter www.benteler-sgl.de.

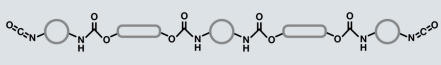
Fotomaterial finden Sie im Internet unter <http://www.henkel.de/presse>

Kontakt	Lisa Kretzberg	Holger Elfes
Telefon	+49 211 797-56 72	+49 211 797-99 33
E-Mail	lisa.kretzberg@henkel.com	holger.elfes@henkel.com

Henkel AG & Co. KGaA

Folgendes Fotomaterial ist verfügbar:

Rohstoff-Baukasten



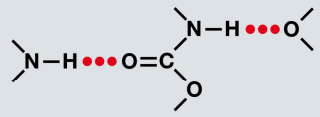
Harz: Polyol-Mischung

- > Funktionalität
- > Flexibilität
- > Polarität

Härter: Isocyanate

- > Funktionalität
- > Reaktivität
- > Viskosität

Polyurethan-Bindung

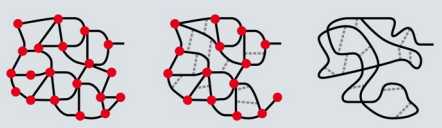


Primärnetzwerk: Urethane – chemisch fixiert

Sekundärnetzwerk: Wasserstoff-Brücken – „dynamisch selbstheilend“

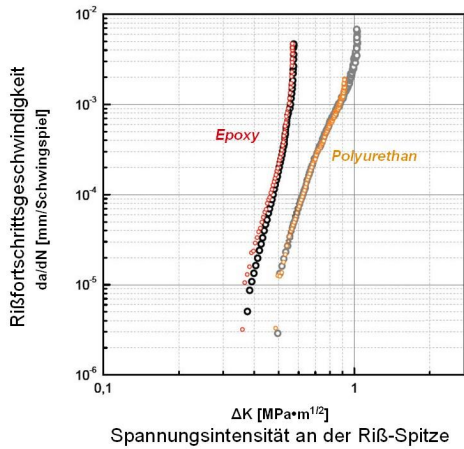
Netzwerkeigenschaften

schematischer Vergleich



Epoxid-Duroplast Polyurethan-Duroplast Polyamid-Thermoplast

Grafiken 1, 2 und 3: Baukasten für das Loctite MAX 2 Matrixharz von Henkel.



Grafik 4: Typisches Bild für das Risswachstum eines Henkel Polyurethans im Vergleich zu einem Referenz-Epoxid.



Bilder 1 und 2: Komposit-Blattfeder aus dem Fertigungsprozess sowie in Einbaulage.

GFRP-Prüfsubstrate ungereinigt	Teroson PU 1510 1K mikroverkapseltes PU
Ohne Trennmittel	9,8 MPa 100 %cf
Externes Trennmittel	4,2 MPa 100 %af
Internes Trennmittel	9,5 MPa 100 %scf

Tabelle 1: Komposit-Prüfkörper aus Loctite MAX 2 mit internem Trennmittel im Klebeversuch.

Klebstoff	Aushärungszeit	Aushärungs- temperatur	Anwendung	Zugscherfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]
Terokal 5055	240	2K Epoxy/RT	Strukturelle Verklebungen	18 – 22	3
Terostat MS 9399	90 – 180	2K SMP/RT	Elastische Verklebungen	2	150
Terolan 1510	0,5	1K PUR/> 85 °C	Strukturelle Verklebungen, schnelle Aushärtung	10 – 14	120
Terolan 1103	2	1K PUR/> 95 °C	Flanschabdichten	4	200
Teromix 6700	120	2K PUR/RT	Strukturelle Verklebungen	13	< 10

Tabelle 2: Henkel Klebstoff-Portfolio für das Verbinden von Kompositen.