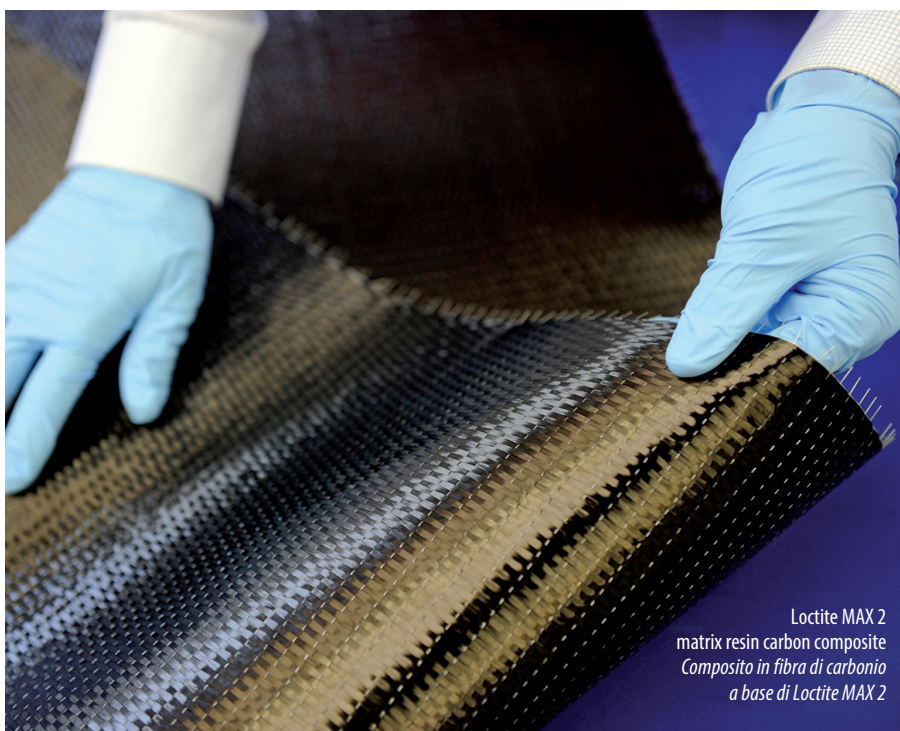


# Polyurethane technology as applied to the mass production of composite leaf springs using the RTM method



Dr. Andreas Ferencz - Henkel AG  
and Ralph Kießling - Benteler-SGL



Loctite MAX 2  
matrix resin carbon composite  
Composito in fibra di carbonio  
a base di Loctite MAX 2

## Flexibility and strength for consistent performance

The leaf springs installed in a wide range of vehicles are traditionally manufactured in steel. However, as the issue of vehicle weight continues to gain importance, solutions offering the benefits of lightweight construction are becoming ever more attractive. Although composite materials are the obvious alternative here, the journey from laboratory prototype to mass production is a long one.

The two main components of a composite are the fiber and the resin. The resin's job is to protect the fibers and ensure efficient

force transmission between them. In addition to exhibiting the necessary mechanical properties, the resin must also remain reliably adhered to the fibers in any situation and exhibit a good resistance to a wide range of aging effects.

In automotive suspension applications, excellent mechanical fatigue strength, elongation and resistance to liquids such as water and oil are, of course, also particularly important.

## Polyurethanes offer extensive design scope

Polyurethanes provide an excellent basis for satisfying these requirements. Polyurethane chemistry is



# La tecnologia dei poliuretani applicata alla produzione su scala industriale di molle a balestra in composito attraverso il processo RTM

## Flessibilità e resistenza per prestazioni costanti

Le molle a balestra installate su una vasta serie di veicoli sono sempre state costruite in acciaio. Tuttavia, dal momento che il problema della riduzione di peso sta diventando sempre più importante, le soluzioni che offrono il vantaggio della leggerezza stanno diventando sempre più interessanti. Sebbene i materiali compositi rappresentino l'alternativa più immediata, il percorso dal prototipo di laboratorio alla produzione su scala industriale è molto lungo. I due componenti principali di un composito sono la fibra e la resina. La funzione della resina è proteggere

le fibre garantendo l'efficace forza di coesione fra esse. Oltre ad offrire le necessarie proprietà meccaniche, la resina deve anche conservare l'adesione alle fibre in qualsiasi condizione di utilizzo e la buona resistenza a vari effetti di invecchiamento. Nel caso delle applicazioni alle sospensioni nel settore automobilistico, sono particolarmente importanti la resistenza a fatica meccanica, all'allungamento e ovviamente anche ai liquidi come l'acqua e gli oli.

## I poliuretani offrono una superiore funzionalità progettuale

I poliuretani sono materiali ideali per

soddisfare questi requisiti. I processi chimici dei poliuretani offrono una grande resistenza e flessibilità. Esiste una grande abbondanza di materiali a matrice di base grazie a cui è possibile combinare profili complessi delle proprietà per mettere a punto una soluzione personalizzata. Se si analizza la funzione di una "molla" insieme all'esigenza di una produzione su scala industriale, gli aspetti della resistenza a fatica e i tempi di processo emergono come criteri chiave per la selezione appropriata della resina. Oltre al reticolo puramente chimico, i poliuretani presentano interazioni fisiche secondarie molto forti che rendono più

flessibile il materiale senza indebolirlo. Selezionando in modo corretto i componenti della resina, è possibile variare in modo specifico i due fenomeni di

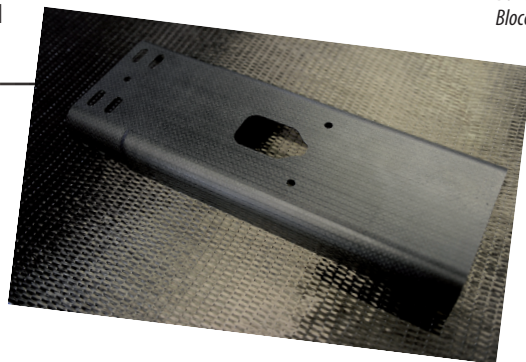


Composite  
Matrix Resin  
Composito,  
matrice resina



not only robust but also very flexible. Hence there is an abundance of basic matrix materials with which even complex property profiles can be combined to create a tailored solution. If one analyzes the task of a “spring” in conjunction with the needs of mass production, the aspects of fatigue strength and cycle time immediately come to light as key criteria for selecting the right resin system. Aside from the purely chemical cross-linked network, polyurethanes also exhibit very strong secondary physical interactions that flexibilize the material without weakening it. By appropriately selecting the resin components, it is possible to specifically vary the two network phenomena in order to achieve a particularly high degree of toughness and thus an extended service life. It also remains possible to retain the high mechanical

values and thermal resistance that are particularly associated with chemically cross-linked systems. Of key significance here is the fact that, in particular, many of the disadvantages of the purely physically cross-linked thermoplastic systems, such as creep under thermal stress or susceptibility to moisture, can be almost entirely avoided. In spring applications, high fiber volume contents are essential, so the resin has to be formulated to quickly and effectively penetrate tightly packed fiber bundles. The components primarily selected from the building blocks



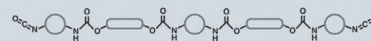
polimerizzazione raggiungendo un grado particolarmente elevato di resistenza, da cui deriva anche una durabilità superiore. È anche possibile conservare le elevate proprietà meccaniche e di resistenza termica, associate ai sistemi a reticolazione chimica. Un altro aspetto molto importante è il fatto che molti degli svantaggi riscontrati nei sistemi termoplastici a reticolazione fisica pura, ad esempio la screpolatura in caso di sollecitazione termica o la sensibilità all'umidità, possono essere quasi del tutto evitati. Nelle applicazioni delle molle, l'alto contenuto di fibra in volume è essenziale, quindi la resina deve essere formulata in modo da permeare velocemente ed efficacemente i fasci di fibra disposti

a distanza ravvicinata. I componenti selezionati principalmente dai blocchi da costruzione disponibili sono quelli a bassa viscosità e con una polarità adeguata alle proprietà delle fibre. Ciò garantisce che, anche con tempi di iniezione brevissimi, non si determinino difetti nel materiale raggiungendo la totale adesione fibra-matrice.

#### Elevata resistenza a influssi esterni

L'utilizzo dei sistemi a bassa viscosità consente di soddisfare un altro importante criterio, vale a dire la

### Raw material toolbox



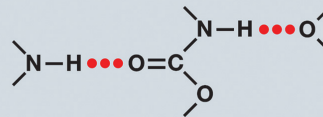
**Resin:**  
Polyol Mixture

- > Functionality
- > Flexibility
- > Polarity

**Hardener:**  
Isocyanates

- > Functionality
- > Reactivity
- > Viscosity

### Polyurethane bond



**Primary network**

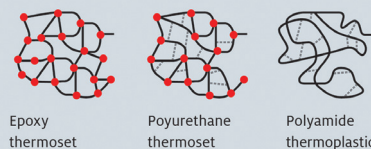
Urethanes – chemically fixed

**Secondary network**

Hydrogen bonds – „dynamically self-healing“

### Network property

schematic comparison



Epoxy thermoset

Polyurethane thermoset

Polyamide thermoplastic

Diagrams 1, 2, 3

Building blocks of the Loctite MAX 2 matrix resin from Henkel  
Blocchi da costruzione della resina matrice Loctite MAX 2 Henkel

available are those offering low viscosity and a polarity matched to the properties of the fibers. This ensures that, even with the shortest of injection times, no flaws are induced into the material and full fiber-matrix adhesion is achieved.

#### High resistance to external influences

The use of low-viscosity systems also enables the satisfaction of a further important criterion: stability in the presence of media such as water or oil.

Here it is important both that the components themselves exhibit good resistance values, and that this property is further enhanced by a high level of chemical cross-linking density that limits swelling processes. Here the low-viscosity components in the formulation offer the additional advantage – provided they have been properly selected – of simultaneously promoting high cross-linking density. As a further

stabilità in presenza di veicoli quali l'acqua o l'olio. In questo caso, è essenziale sia che i componenti stessi offrano alti valori di resistenza sia che questa proprietà sia potenziata da un'alta densità di reticolazione per limitare i processi di rigonfiamento. A condizione che vengano opportunamente selezionati, i componenti a bassa viscosità nella formulazione offrono l'ulteriore vantaggiosa proprietà di promuovere simultaneamente un'elevata densità di reticolazione. Oltre a questo, la temperatura massima di applicazione è più alta, evitando la fragilità grazie alla flessibilità coordinata ottenuta utilizzando le interrelazioni fisiche dei gruppi uretanici. Questo effetto può essere descritto in modo semplice con gli esperimenti di propagazione delle cricche. L'analisi comparata fra un campione da test unico della resina poliuretanicca Loctite MAX 2

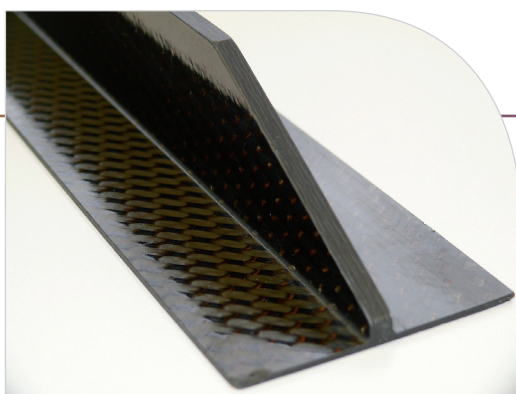
di Henkel con un'epossidica tipica dotata della medesima resistenza e alla stessa temperatura d'esercizio ha dimostrato che nel caso della prima resina, la propagazione delle cricche inizia con carichi significativamente superiori e a ritmi più lenti. Questo vantaggio si mantiene tale anche nei casi in cui i campioni vengano esposti a carichi di umidità estremamente elevati in immersione, il che dimostra chiaramente che, nel caso delle poliuretanicche, la robustezza può essere considerata una caratteristica del materiale intrinseca e controllabile, a compensazione delle variabili di tenacità e resistenza al carico termico. Questa eccellente resistenza, produce inoltre un effetto positivo sulla risposta al comportamento a fatica sotto carico. Una molla a balestra, per esempio, è esposta a sollecitazioni dinamiche costanti quando l'automobile è in movimento.

benefit, the maximum application temperature is also increased, with embrittlement being effectively avoided through coordinated flexibilization utilizing the physical interrelationships of the urethane groups.

This effect can be very simply illustrated with crack propagation experiments. Comparing an impaired test specimen of the polyurethane resin Loctite MAX 2 with a typical epoxy of similar strength and service temperature shows that, in the case of the former, crack propagation commences at significantly higher loads and progresses much more slowly. This advantage also remains even if the specimens are exposed to extreme moisture loading under water. This shows very clearly that, in the case of polyurethanes, toughness can be regarded as material-intrinsic and controllable, and is thus fully reconcilable

with the variables of strength and thermal load resistance. Such excellent toughness also has a positive effect on fatigue behavior under load. A leaf spring, for example, is exposed to constant dynamic stresses when an automobile is in motion. Therefore, flexible materials with a high fatigue tolerance facilitate substantial prolongation of the service life of a component. Aside from the material properties per se, the speed with which these can be achieved within the process is of significant importance. The relevant variables here are essentially time and temperature. Polyurethane cross-linking is generally characterized by two special features that allow excellent process control: the first is the very low reaction heat, which means there is no danger of highly accelerated formulations reacting in an uncontrolled manner; and the

second is that accelerators can be readily added to finely tune the process speed to requirements. Depending on the desired process and properties window, maximum speeds to demolding can be achieved, for example, at a mold temperature – and thus reaction temperature – of anything from e.g. 70°C to, say, 110°C. The change is achieved by simply adjusting the quantities



Quindi, i materiali flessibili con alta tolleranza a fatica contribuiscono ad accrescere la vita utile del componente. Oltre alle proprietà del materiale di per sé, la velocità a cui esse si manifestano durante il processo di lavorazione è un aspetto molto rilevante. Le variabili in gioco in questo caso sono fondamentalmente il tempo e la temperatura. La reticolazione del poliuretano si caratterizza generalmente per due speciali proprietà che permettono un eccellente controllo del processo: la prima è la bassa emissione di calore nella reazione,

di processo ai requisiti dati. In base al processo desiderato e al ventaglio delle proprietà, si raggiungono le velocità massime di distacco dallo stampo, ad esempio a temperature di stampaggio e quindi di reazione a partire da 70° fino a 110°C. Le variazioni si ottengono regolando semplicemente le quantità di accelerante in aggiunta. In questo modo, quindi è possibile utilizzare la stessa resina per produrre a velocità uguale sia i componenti strutturali ad alta sollecitazione termica che i componenti del guscio esterno

per cui non si corre il rischio di formulazioni accelerate che reagiscono in modo incontrollato e la seconda consente di aggiungere subito gli acceleranti adeguando la velocità

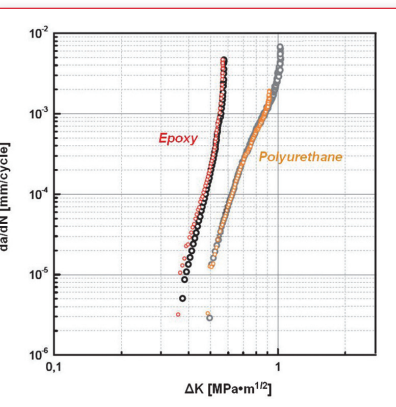


Diagram 4  
Typical crack propagation graph showing a Henkel polyurethane compared to a reference epoxy  
Grafico della propagazione tipica della screpolatura di una poliuretana Henkel a confronto con un campione di epossidica

second is that accelerators can be readily added to finely tune the process speed to requirements. Depending on the desired process and properties window, maximum speeds to demolding can be achieved, for example, at a mold temperature – and thus reaction temperature – of anything from e.g. 70°C to, say, 110°C. The change is achieved by simply adjusting the quantities

of accelerator added. Thus, it would be possible to use the same resin system to produce – with equal speed – both thermally highly stressed structural components, say, and external bodyshell components in which the emphasis is on achieving good surface quality. For each process and each component design, therefore, it is possible to optimally adjust the resin system to minimize cycle time. In the case of the automotive suspension spring, the system is formulated for good impregnation, high elongation and extreme resistance to cyclic stressing, while at the same time ensuring sufficient thermal loadability under conditions of moisture exposure.

### Mass production of composite leaf springs

Although the resin is key to producing a viable composite component such as a leaf spring, it is just as important to align the

dove la buona qualità superficiale riveste una particolare importanza. Per lo sviluppo di ogni processo e componente è dunque possibile adeguare correttamente la resina così da ridurre al minimo i tempi dei cicli di produzione. Nel caso delle balestre per il settore automobilistico, il sistema viene formulato in modo da ottenere un'impregnazione soddisfacente, alto allungamento e la massima resistenza alle sollecitazioni cicliche, garantendo nello stesso tempo carichi termici sufficienti nelle condizioni di esposizione all'umidità.

### Produzione su scala industriale delle balestre in materiale composito

Sebbene la resina rappresenti la chiave di volta per la produzione di un componente in composito idoneo allo scopo come le balestre, è altrettanto importante l'adeguamento

della progettazione e l'ingegnerizzazione in generale, al processo produttivo successivo. Soltanto in questo modo è possibile garantire che il componente possieda la funzionalità e le prestazioni attese e soddisfi i criteri dell'efficienza produttiva.

Per quanto riguarda le balestre trasversali, le variabili fondamentali sono in primo luogo i parametri limite come la quantità di spazio disponibile per l'installazione e in secondo luogo, il profilo delle proprietà specifiche in relazione alla rigidità e alla vita utile. Tuttavia, i parametri di processo come le durate dei cicli di lavorazione o le condizioni dell'indurimento giocano anch'essi un ruolo determinante. Il principio di base è sempre la garanzia che il cliente ottenga vantaggi economici e tecnici. Con circa 6 chilogrammi, la molla in composito è più leggera di 9 chilogrammi della versione convenzionale

design and the overall engineering configuration to the subsequent manufacturing process. Only in this way can it be ensured the component will both perform the function for which it is intended and meet the criteria governing production efficiency. For transverse leaf springs, the key variables here are, firstly, a boundary parameter such as the amount of installation space available, and secondly, the specified properties profile in relation to stiffness or service life. However, process parameters such as cycle times or hardening conditions also play a central role. The first principle is always to ensure the achievement of economic and technical customer benefit. At around 6 kilograms, the composite spring is 9 kilograms lighter than the conventional steel version for this application, giving the technical



Composite leaf springs as manufactured (top)  
and as installed  
*Balestra in composito (in alto)  
e installazione*



benefit of a 65 percent saving in weight. And economically, the availability of an efficient process means more tailoring scope. It is important when embarking on the mass production of series components that all these essential factors and parameters are accommodated within a

*in acciaio per questa applicazione, offrendo un vantaggio tecnico equivalente a un risparmio di peso pari al 65%; economicamente, la disponibilità di un processo efficiente è sinonimo del raggiungimento di un obiettivo specifico in base alle esigenze. Nell'intraprendere la produzione su scala industriale di componenti è molto importante che questi fattori e parametri vengano adattati all'interno di una catena di processo linearmente interconnessa. Grazie a questo lavoro sullo sviluppo*

*e sulla commercializzazione delle molle a balestra trasversali, prodotte mediante la tecnologia (RTM), la Benteler-SGL ha trovato strade nuove in molti settori innovativi. Il primo passo per garantire la qualità del prodotto è l'introduzione dell'operazione di preformatura automatizzata. Strato dopo strato, il materiale in fibra di vetro unidirezionale (UD) viene testato durante il processo per la valutazione della qualità e posizionato per sovrapposizione nello stampo. In questo modo, per ogni singola molla, si garantisce che i parametri del materiale destinato al componente siano sempre in linea*

smoothly interlinked process chain. Through its work on the development and commercialization of a transverse leaf springs manufactured using resin transfer molding (RTM) technology, Benteler-SGL has made pioneering inroads into a number of new fields.

The first step in guaranteeing product quality is to introduce automated preforming. Layer by layer, the unidirectional (UD) glass fiber material is checked in-process for quality and placed in stacks into the mold.

This means that, for each individual spring, there is a guarantee that the material parameters for the component are always compliant with the specification, even in the event of minor variations in the starting material.

The preforms of several leaf springs are simultaneously

impregnated in the multiple cavities of a shuttle press mold. The system is designed for a production output of over 100,000 pieces per year.

Aside from the above-described resin parameters, major aspects in this regard are an appropriate mold design and handling concept with the leaf springs being separated once they are removed from the cavities.

The last stages in the process are the heat treatment aligned to ensure the uniform hardening of all the leaf springs produced, and a final mechanical QA check to ensure that any concealed defects can be reliably detected.

Hence, with a high level of automation, extensive process design expertise and continuous quality control, together with a functionally stabile, process-compatible

resin, it is indeed possible to create and maintain an efficiently interlinked process chain.

### Outlook

The sections above discuss the fundamental features of polyurethane resin systems and the specific application of leaf spring production.

However, this by no means exhausts the possibilities of

polyurethane technology. The building block system inherent in the chemistry means that the combinations available in the creation of specifically tailored solutions are almost infinite.

It will certainly be vitally important for the future applications of composites – within integrated modular solutions or as finished components – that solutions will be found for the combination

GRP test substrates uncleaned <i>Substrati del test GRP non puliti</i>	Teroson PU 1510 1K microencapsulated PU <i>Teroson PU 1510 – PU 1K microincapsulata</i>
Without release agent <i>Senza agente di rilascio</i>	9.8 MPa 100 %cf
External release agent <i>Agente di rilascio esterno</i>	4.2 MPa 100 %af
Internal release agent <i>Agente di rilascio interno</i>	9.5 MPa 100 %scf

Table 1  
Bonding test on composite specimens made with Loctite MAX 2 with internal release agent  
*Test dell'incollaggio di campioni in composito realizzati con Loctite MAX 2 e agente di rilascio interno*

Adhesive <i>Adesivi</i>	Curing time [min.] <i>Tempi di reticolazione [min]</i>	System/Curing temperature <i>Temperatura di reticolazione</i>	Application <i>Applicazione</i>	Shear Strength [MPa] <i>Forze di taglio [MPa]</i>	Elongation [%] <i>Allungamento [%]</i>
Terokal 5055	240	2P Epoxy/RT <i>Epossidica 2P/RT</i>	structural bonding <i>ancoraggio strutturale</i>	18 - 22	3
Terostat MS 9399	90 - 180	2P SMP/RT <i>2P SMP/RT</i>	elastic bonding <i>incollaggio elastico</i>	2	150
Terolan 1510	0,5	1P PUR/ >85°C <i>Poliuretana 1P/&gt;85°C</i>	structural bonding fast curing / <i>reticolazione veloce dell'incollaggio strutturale</i>	10 - 14	120
Terolan 1103	2	1P PUR/ >95°C <i>Poliuretana 1P/&gt;95°C</i>	flange sealing <i>tenuta della flangia</i>	4	200
Teromix 6700	120	2P PUR/RT <i>Poliuretana 2P/RT</i>	structural bonding <i>incollaggio strutturale</i>	13	<10

Table 2  
Henkel adhesives portfolio for the bonding of composites / *Adesivi Henkel per l'incollaggio deli adesivi*

con le specifiche, anche nel caso di piccole variazioni del materiale iniziale. Le preformature di diverse molle a balestra vengono impregnate simultaneamente nelle cavità multiple di una stazione per stampo a pressione. Questo sistema è stato sviluppato per una resa produttiva di più di 100.000 pezzi all'anno.

Oltre ai parametri della resina sopra descritti, gli altri aspetti importanti al riguardo sono lo sviluppo corretto dello stampo e la tecnica di lavorazione con le balestre separate dopo

essere state rimosse dalle cavità. Le ultime fasi del processo consistono nell'adeguamento del trattamento termico per garantire l'indurimento uniforme di tutte le molle a balestra prodotte e nel controllo meccanico QA finale per accertarsi che eventuali difetti nascosti possano essere individuati in modo affidabile. Quindi, grazie a un elevato grado di automazione, all'esperienza nella progettazione e al controllo costante della qualità, insieme a una resina compatibile con il processo e a stabilità funzionale, è

effettivamente possibile creare e mantenere una catena di processo efficacemente interconnessa.

### Prospettive

Le tematiche discusse in questo articolo sono questioni fondamentali quando si parla di sistemi a base di resina poliuretana e di applicazioni specifiche delle molle a balestra. Questo però non esaurisce assolutamente le opportunità offerte dalla tecnologia delle poliuretane. I blocchi da costruzione del processo chimico ampliano all'infinito le combinazioni possibili per la

creazione di soluzioni specifiche. Per le future applicazioni dei compositi sarà certamente molto importante, nell'ambito delle soluzioni modulari integrate o come componenti finiti, che rendano possibile la combinazione e l'integrazione di materiali fra loro diversi. Se si considera l'utilizzo dei materiali compositi nel settore automobilistico, nell'incollaggio di materiali fra loro diversi, emergono continuamente interfacce. In questo caso, si perde molto tempo utilizzando tecniche integrative che richiedono pretrattamenti complessi. Grazie alla sua versatilità, il poliuretano offre

and integration of often disparate materials.

Looking at the use of composite materials in automobile construction, interfaces are constantly surfacing where different materials have to be joined together. Here, a lot of time is currently being spent employing integration techniques that require complex pretreatment processes.

Thanks to its versatility, polyurethane in particular offers the basis for the formulation of resins in which a smart release agent function is already integrated. This would serve to separate molding from mold while also being sufficiently well incorporated within the system to allow subsequent bonding or even painting without the need for major pretreatment processes.

For the automotive industry particularly, integration within

an overall package is essential for this technology to be regarded as a complete application solution. Henkel is therefore working hard on further developing resin components that can be incorporated within the system and thus contribute to optimizing the production process.

Similarly, Henkel also offers individually formulated adhesives designed to ensure the reliable integration of the different component materials within the framework of advanced multi-material concepts. Is this vision or reality? The advancements made to date show that this approach can indeed be adopted with products such as Loctite MAX 2. The components are available and the art now lies in utilizing this potential in the creation of solutions tailored to each specific application.

ABOUT THE AUTHORS

**Dr. Andreas Ferencz**

Polyurethanes Manager, responsible for the development of Henkel Loctite MAX2 polyurethanes Henkel AG & Co. KGaA, Adhesive Technologies, Düsseldorf, Germany

**Dr. Andreas Ferencz**

Responsabile divisione poliuretatiche e sviluppo di Loctite MAX 2 Henkel, poliuretatiche Henkel AG & Co. KGaA, Adhesive Technologies, Dusseldorf, Germania

**Ralph Kießling**

Team Leader, Leaf Springs Center of Competence responsible for materials and process development in relation to leaf spring manufacturing Benteler-SGL Composite Technology GmbH, Ried im Innkreis, Austria

**Ralph Kießling**

Team Leader del centro di competenza per balestre, è responsabile dello sviluppo di materiali e processi per la produzione delle balestre di Benteler-SGL Composite Technology GmbH, Ried im Innkreis, Austria

*le basi della formulazione di resine in cui è già integrata la funzionalità di un agente di rilascio "intelligente". Tutto questo serve a separare il pezzo stampato dallo stampo pur essendo già ben incorporato nel sistema consentendo le successive operazioni di incollaggio o di verniciatura senza dover procedere al pretrattamento. Per quanto riguarda in particolare l'industria automobilistica, l'integrazione all'interno di un sistema è essenziale affinché questa tecnologia venga considerata una soluzione applicativa completa. Henkel persegue costantemente lo sviluppo dei componenti della resina che potrebbero essere incorporati nel sistema,*

*contribuendo così a ottimizzare il processo produttivo. Inoltre, offre formulazioni specifiche di adesivi che garantiscono l'integrazione affidabile dei diversi materiali componenti nel quadro generale di una tecnologia avanzata, basata sull'impiego di diversi materiali.*

*È una semplice visione o la realtà dei fatti? I progressi maturati finora dimostrano che questo approccio può essere veramente valido con l'uso di prodotti quali Loctite MAX 2. I componenti sono disponibili e il segreto sta nello sfruttare queste potenzialità creando soluzioni personalizzate in base ad applicazioni specifiche.*

design and the overall engineering configuration to the subsequent manufacturing process. Only in this way can it be ensured the component will both perform the function for which it is intended and meet the criteria governing production efficiency. For transverse leaf springs, the key variables here are, firstly, a boundary parameter such as the amount of installation space available, and secondly, the specified properties profile in relation to stiffness or service life. However, process parameters such as cycle times or hardening conditions also play a central role. The first principle is always to ensure the achievement of economic and technical customer benefit. At around 6 kilograms, the composite spring is 9 kilograms lighter than the conventional steel version for this application, giving the technical



Composite leaf springs as manufactured (top)  
and as installed  
*Balestra in composito (in alto)  
e installazione*



benefit of a 65 percent saving in weight. And economically, the availability of an efficient process means more tailoring scope. It is important when embarking on the mass production of series components that all these essential factors and parameters are accommodated within a

*in acciaio per questa applicazione, offrendo un vantaggio tecnico equivalente a un risparmio di peso pari al 65%; economicamente, la disponibilità di un processo efficiente è sinonimo del raggiungimento di un obiettivo specifico in base alle esigenze. Nell'intraprendere la produzione su scala industriale di componenti è molto importante che questi fattori e parametri vengano adattati all'interno di una catena di processo linearmente interconnessa. Grazie a questo lavoro sullo sviluppo*

*e sulla commercializzazione delle molle a balestra trasversali, prodotte mediante la tecnologia (RTM), la Benteler-SGL ha trovato strade nuove in molti settori innovativi. Il primo passo per garantire la qualità del prodotto è l'introduzione dell'operazione di preformatura automatizzata. Strato dopo strato, il materiale in fibra di vetro unidirezionale (UD) viene testato durante il processo per la valutazione della qualità e posizionato per sovrapposizione nello stampo. In questo modo, per ogni singola molla, si garantisce che i parametri del materiale destinato al componente siano sempre in linea*