



The carbon-fiber-reinforced roof of the lightweight Roding Roadster R1 sports car  
Il Roding Roadster R1 ha il tettuccio in carbonio

## Lightness in every fiber: composite components in series production

Martin Würtele, Erich Fries and Dr.-Ing. Stephan Widmayer  
KraussMaffei Technologies GmbH

**ABSTRACT.** Thermoplastic has primarily been used as the matrix material for production of fiber-reinforced lightweight components in large quantities. Meanwhile, reaction resins have also become suitable for medium to large series production due to further development of the resin transfer molding method. A panorama of the latest procedures including that introduced at K 2013: Surface resin transfer molding (RTM).

Components made of fiber-reinforced plastics (FRP) feature a unique ratio of mechanical characteristic values to weight.

They are therefore used in applications such as vehicle manufacturing. To reduce component weight and simultaneously achieve even higher strength levels, carbon fibers are increasingly used in place of glass fibers.

High quantities can be produced in short cycle times by means of injection molding of fiber-reinforced components. This high degree of automation also results in cost-effective component manufacturing. Shorter cycle times can be achieved through



## La leggerezza in ogni fibra: componenti in composito per la produzione in serie

Martin Würtele, Erich Fries and Dr.-Ing. Stephan Widmayer - KraussMaffei Technologies GmbH

**ABSTRACT.** I materiali termoplastici sono utilizzati principalmente come matrice per la produzione di componenti leggeri fibro-rinforzati in grandi quantità. Nel frattempo, anche le resine reattive sono diventate adatte per produzioni di serie media e alta grazie ai nuovi sviluppi della tecnica di stampaggio per infusione della resina. In questo articolo si dà una panoramica delle più recenti procedure, comprese quelle presentate presentate al K 2013, relative allo stampaggio per infusione di resina (RTM)

iniezione dei componenti fibro-rinforzati. Questo alto grado di automazione si traduce anche in un processo produttivo dai costi ridotti. Cicli di lavoro abbreviati sono ottenibili grazie all'ulteriore sviluppo della tecnica RTM per lavorare le resine. Sono quindi ormai disponibili numerosi processi alternativi per produzioni su larga scala.

granulati contenenti fibre di vetro corte o lunghe. In alternativa, è possibile l'incorporazione diretta con il compounder per stampaggio a iniezione (l'Injection Molding Compound, IMC) (fig. 1).

Questa procedura combina l'estrusione continua di un composto con lo stampaggio a iniezione discontinuo. A tal fine, il polimero della matrice viene prima fuso in un estrusore a doppia vite e, se necessario, miscelato con additivi. Le fibre sono saturate con la matrice termoplastica fusa nell'estrusore, di durata inferiore in questo processo, per essere poi trasferite in un pistone d'iniezione. Uno dei

I componenti costituiti da vetro-resina (FRP) si distinguono per un rapporto proprietà meccaniche/peso pienamente soddisfacente. Essi sono quindi utilizzati per applicazioni quali la costruzione di veicoli. Per ridurre il peso del componente

e nello stesso tempo raggiungere un grado di resistenza superiore, si utilizzano sempre di più le fibre di carbonio al posto di quelle di vetro. È possibile produrle in quantità elevate con cicli di lavoro brevi utilizzando lo stampaggio per

### Lo stampaggio per iniezione di termoplastiche e termoindurenti

Per rinforzare con fibre i componenti termoplastici realizzati mediante stampaggio per iniezione, è possibile trattare materiali

further development of the RTM method in processing reaction resin, as well. Numerous process alternatives are thus available for large series production.

### Injection molding thermoplastics and thermosets

To reinforce thermoplastic injection molding components with fibers, granulates can be processed that contain short or long glass fibers. As an alternative, direct compounding is available

through the Injection Molding Compounder (IMC) (fig. 1). The procedure combines the continuous extrusion of a compound with discontinuous injection molding. To do so, the matrix polymer is first melted in a unidirectional twin-screw extruder and, if necessary, mixed with additives. The fibers are saturated with the melted thermoplastic matrix in the extruder, shortened in this process, and then are transferred to an injection piston. Along with less fiber

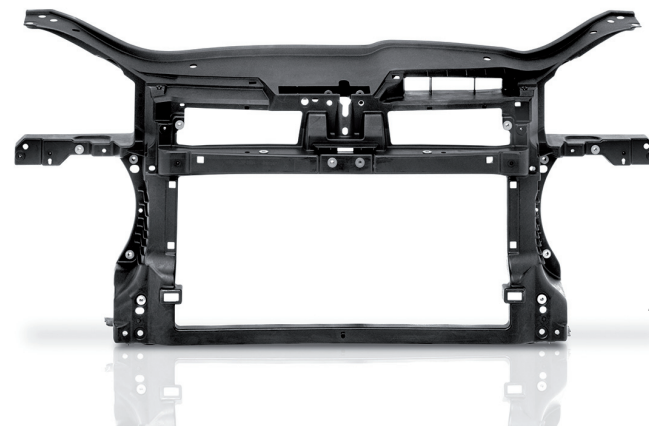


Fig. 2  
Frontend  
made with IMC  
(injection  
molding  
compounder)  
Supporto anteriore  
prodotto con IMC

damage, non-invasive processing of the melt in one heating is among the advantages of the IMC procedure in particular. This allows for significantly

reduced energy and material costs and greater fiber lengths in the component. The short cycle times permit fully automatic manufacture of large quantities (300,000 to 600,000 pieces a year). Typical applications are frontend carriers (FEC) (fig. 2), gearbox supports, bulkheads and battery trays. The strength level of fiber-reinforced injection molding parts increases even more with the FiberForm procedure. In this process, thermoforming of textile-reinforced semi-finished plates based on a thermoplastic matrix (composite sheets) is combined with injection molding.

Fig. 1 - The injection molding compounder combines the continuous extrusion of a compound with discontinuous injection molding  
Il compounder a iniezione combina l'estrusione continua con la stampa a iniezione discontinua



vantaggi offerti dalla procedura IMC è il minore danneggiamento della fibra insieme alla lavorazione non invasiva nel processo di fusione con un unico ciclo di riscaldamento. Ciò permette di ridurre i costi energetici e del materiale e di avere fibre più lunghe nel componente. Il breve ciclo di lavorazione consente di lavorare grandi quantità (da 300.000 a 600.000 pezzi l'anno) in modo totalmente automatico. Applicazioni tipiche includono i supporti anteriori (frontend carriers: FEC) (fig. 2), i supporti della scatola del cambio, partizioni interne e

portabatterie. La resistenza dei componenti fibrorinforzati prodotti con stampaggio a iniezione aumenta ulteriormente adottando la procedura FiberForm. In questo processo, la termoformatura delle lastre semifinite rinforzate con prodotti tessili, a matrice termoplastica (laminati compositi) è combinata con lo stampaggio per iniezione. Come rinforzo si possono utilizzare mesh, tessuto o mesh unidirezionali. Il prodotto semifinito viene impregnato completamente e consolidato in modo che le singole fibre risultino già sature

insieme alla matrice in modo che non ci sia presenza di aria. I laminati in composito sono riscaldati separatamente, prima trasformati in stampo per iniezione e poi nuovamente sottoposti ad iniezione. La tecnologia del riscaldamento uniforme del composito in un forno a convezione, paternoster design, permette di utilizzare parti di fibra semifinita con vari spessori e orientamenti della fibra. Dopo la fase di preriscaldamento, una pinza multifunzionale (fig. 3) posiziona e trasferisce il laminato organico nello stampo per poi

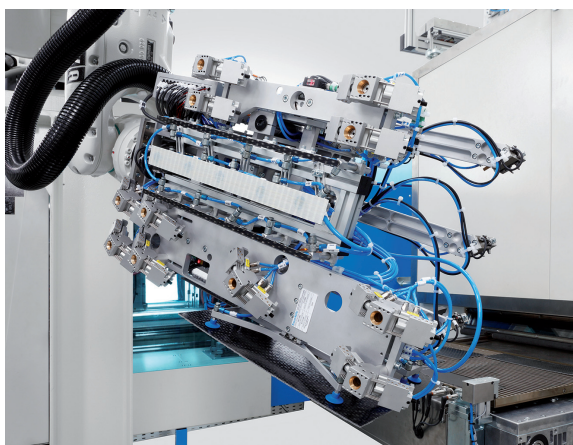
estrarre il pezzo finito. Il processo è stato sviluppato in modo così flessibile che una re-iniezione parziale e la finitura diretta possono essere eseguite in modo completamente automatico senza ricorrere a nuove lavorazioni.

Utilizzando un processo di incollaggio inline, nello stampo ad iniezione viene stampata contemporaneamente una parte cava e i fasci di raggi IR totalmente integrati garantiscono l'attivazione della superficie d'unione e quindi il legame ottimale fra il laminato composito e la matrice termoplastica. In soltanto 57 secondi viene quindi creato un componente complesso ma con peso ridotto, dotato di una stabilità dimensionale unica (fig. 4).

Questa procedura è ideale per produzioni in serie su larga scala come



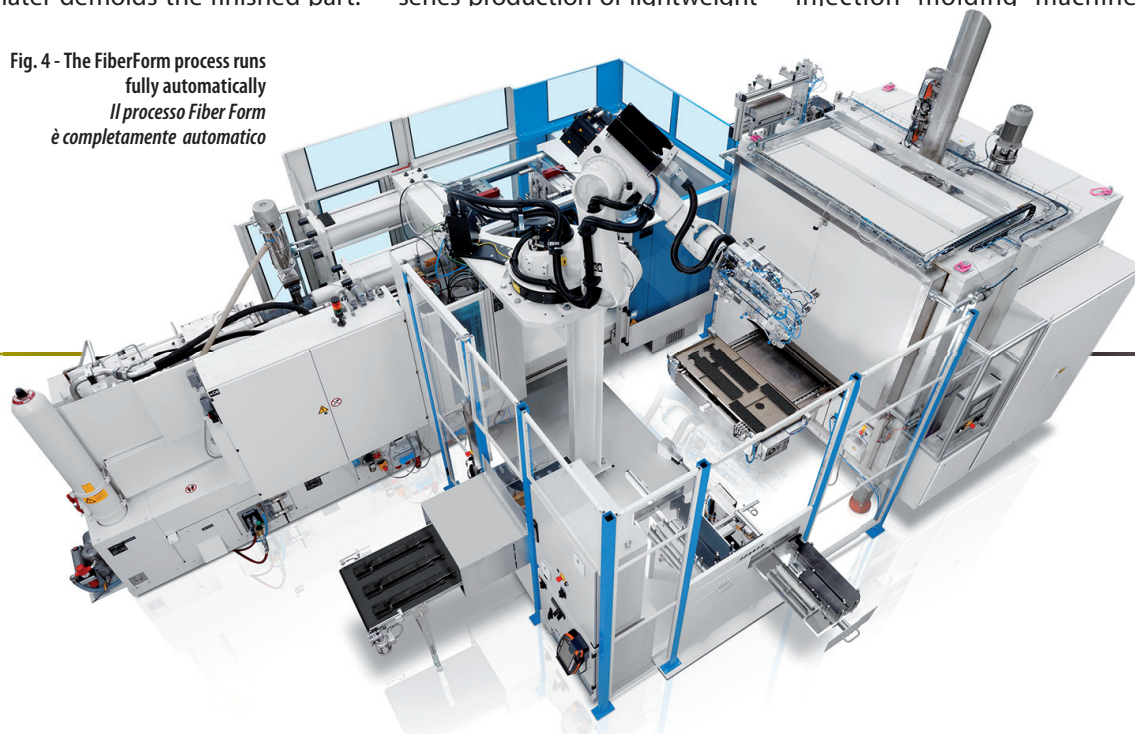
**Fig. 3**  
The multi-functional gripper places and transfers the organic sheet into the mold and demolds the finished part  
*La pinza multifunzionale posiziona e trasferisce il laminato organico nello stampo e estrae il prodotto finito*



A mesh, a fabric or a unidirectional mesh can serve as reinforcement. The semi-finished product is completely impregnated and consolidated, meaning that the individual filaments of the fiber rovings are already completely wetted with the matrix material and no air can be present there. The composite sheets are heated separately, first transformed in the injection mold and then back-injected. Well-engineered heating technology, which ensures that the composite is warmed through evenly in a convection oven in

the paternoster design, allows the use of semifinished fiber parts with different thicknesses and fiber orientations. After pre-heating, a multifunction gripper (fig. 3) places and transfers the organic sheet into the mold and later demolds the finished part.

**Fig. 4 - The FiberForm process runs fully automatically**  
*Il processo Fiber Form è completamente automatico*



The process is designed so flexibly that a partial back injection as well as direct trimming can proceed fully automatically, with no need for rework.

In a new in-line joining process, a hollow body is concurrently formed in the injection mold. Fully integrated infrared beams ensure activation of the joining surface and therefore an optimal connection between the composite sheet and thermoplastic matrix. In just 57 seconds, this creates a complex but lightweight component with tremendous dimensional stability (fig. 4).

This procedure is ideal for large series production of lightweight

structural components, such as seat shells and backrests, instrument panel supports, soft top compartments and technical parts in the engine bay.

Fiber-reinforced injection molded parts can also be manufactured from thermoset instead of thermoplastic. Sheet molding compounds (SMC) and bulk molding compounds (BMC) are well suited for producing very rigid, precisely dimensioned components for working temperatures up to approximately 180 °C. The materials output are fiberglass-reinforced polyester or vinyl ester resins that are processed with specially-equipped injection molding machines.



*le scocche di sedili e poggiatesta, i supporti del cruscotto, comparti del soft top e componenti tecnici del vano motore.*

*I componenti fibrorinforzati stampati a iniezione possono essere realizzati anche con i materiali termoindurenti anziché termoplastici. I laminati compositi di stampaggio in volume (BMC) si addicono in particolare alla produzione di componenti molto rigidi con dimensioni precise operando con temperature d'esercizio fino a circa 180°C. Il materiale utilizzato è resina poliestere rinforzata con fibra di vetro oppure resina vinilestere trattata con attrezzature molto sofisticate per lo stampaggio a iniezione. Dopo aver eseguito l'iniezione, il materiale reticola nel componente finito sotto l'influsso della temperatura nello*

*stampo surriscaldato. I cappucci delle valvole, i riflettori dei fari e la coppa dell'olio sono esempi di componenti realizzati usando questa tecnica di processo.*

**RTM ad alta pressione – cicli brevi con sistemi di resina/indurente a reazione veloce**

*Per costruire componenti fibrorinforzati a matrice epossidica in serie, KraussMaffei ha messo a punto la tecnica dello stampaggio per*

*infusione di resina ad alta pressione (HP-RTM). La procedura è adatta anche ad applicazioni che utilizzano i poliuretani al posto delle resine epossidiche. Uno dei vantaggi offerti dalle poliuretaniche è che le materie prime tendono ad essere meno costose, la temperatura di processo è inferiore e i componenti poliuretaniche presentano una viscosità inferiore. I sistemi HP-RTM consentono di trattare sia le resine epossidiche che le poliuretaniche.*

*Per quanto riguarda HP-RTM, un preformato a base di carbonio o fibra di vetro viene inizialmente introdotto nello stampo. In seguito, una testina di miscelazione ad alta pressione autopulente inietta la resina nello stampo chiuso, impregnando il preformato. Questa tecnica di processo consente ai sistemi a base di resina di reagire prontamente in vista del trattamento. La resina matrice bagna ogni singola fibra mediante iniezione ad alta*

After injection, the material cures into the finished component under the influence of temperature in the hot mold. Valve caps, headlight reflectors and oil pans, among other components, are manufactured using this type of process engineering.

**High pressure RTM – Short cycles with fast-reacting resin/hardener systems**

To produce fiber-reinforced components with epoxy matrix in larger series, has been developed a high-pressure resin transfer molding (HP-RTM). The procedure is also suitable for applications using polyurethane in place of epoxy resin. Among the advantages of polyurethane are that the raw materials tend to be less expensive, the processing temperature is lower and polyurethane components have lower viscosity. The HP-RTM systems permits processing of

epoxy resin as well as polyurethane.

For HP-RTM, a carbon or fiberglass preform is initially inserted into the mold. Then, a self-cleaning high-pressure mixing head injects the resin in the closed mold, infiltrating the preform. This processing technique allows fast-reacting resin systems to be processed. The matrix resin wets each individual fiber through high-pressure injection, reducing air voids to a minimum. The fiber content can be approx.

50% for components in automotive applications. Examples of typical products made through the HP-RTM process are extremely lightweight structural components that fulfill the highest mechanical demands. These include front-end carriers, roof modules, sidewall panels or crashboxes in vehicle manufacturing. KraussMaffei delivered 20 HP-RTM systems for the BMW i3's

*pressione riducendo al minimo i vuoti d'aria. Il contenuto di fibra può essere pari a circa il 50% nel caso di componenti per applicazioni in campo automobilistico. Esempi di prodotti tipici realizzati con il processo HP-RTM sono i componenti strutturali molto leggeri che soddisfano i più rigorosi requisiti meccanici, fra cui i componenti FEC, i moduli dei tettucci, i pannelli laterali o i crashbox nell'industria automobilistica. KraussMaffei ha prodotto, ad esempio, 20 sistemi da 20HP-RTM per la scocca laterale della BMW i3 diventando primo produttore sul mercato con una grande esperienza nel campo della produzione in serie. Una ulteriore variante di processo è lo stampaggio con*

*infusione di resina per compressione (C-RTM). In questo processo, in fase iniziale, lo stampo viene solo parzialmente chiuso. In seguito, la miscela di resina viene introdotta nello stampo a bassa pressione interna. Le fibre vengono già in parte saturate dalla resina, ma la gran parte della resina resta virtualmente "galleggiante" sulla fibra. La resina viene poi spinta nella fibra nella direzione Z mediante compressione in modo che questa venga bagnata nel corso del processo. Dal momento che, durante l'infiltrazione si crea una pressione interna notevolmente inferiore rispetto al processo HP-RTM, nel processo C-RTM è possibile utilizzare frequentemente gli stampi di alluminio al posto di quelli di*





side frame, for example, making it the first manufacturer on the market with experience in series production conditions.

An additional process variant is the compression resin transfer molding (C-RTM). During this process, the mold is initially only partially closed. Next, the resin mixture enters the mold at low mold-internal pressure. Some of the fibers are already saturated by the resin; the greater portion of the resin quantity, however, is virtually "floating" on the fiber. The resin is then pushed through the fiber in the Z-direction with a compression stroke, so that the fiber is wetted in the process. Since a significantly lower cavity pressure is formed during infiltration than in the HP-RTM process, aluminum molds can also be used frequently instead of steel in C-RTM, particularly in

the case of prototypes. A further result is that presses with lower clamping force can be used.

With the wet molding procedure, an additional alternative is offered for automated series production of fiber-reinforced lightweight components. Here, a fiber pile is fixed (in a stentering frame, for example) in a flat state without preforming. The mixing head is not fastened directly to the mold during the wet molding process but rather to an industrial robot. A discharge nozzle is located on the mixing head. It is used to apply a thin, laminar layer of resin to the fiber pile while the mixing head moves in a loop above. Subsequently, the stentering frame is pressed with the fiber pile and the resin layer in a mold. Therefore, the preforming of the fibers during the wet molding



acciaio, in particolare nel caso dei prototipi. Un altro vantaggio è la possibilità di utilizzare presse con forza di bloccaggio inferiore.

Con la procedura dello stampaggio per iniezione, viene offerta un'altra alternativa alla produzione automatizzata in serie dei componenti leggeri fibro-rinforzati. In questo caso, una serie di fibre sovrapposte viene fissata (per esempio su un telaio di tensionatura) in piano senza preformatura. La testina di miscelazione non viene fissata direttamente sullo stampo durante l'impregnazione, ma ad un robot industriale. Un ugello di scarico viene posizionato sulla testina di miscelazione. Questo viene utilizzato per applicare uno strato sottile di resina laminare sulle fibre sovrapposte mentre la testina di miscelazione si muove circolarmente nella parte superiore. Successivamente, il telaio di ten-

sionatura viene pressato nello stampo con le fibre insieme alla resina. Di conseguenza, la preformatura delle fibre durante il processo di stampaggio per infusione ha luogo inizialmente con il movimento di chiusura dello stampo. La larghezza dello strato di resina applicato può essere regolata in modo da soddisfare i requisiti di processo, a esempio adeguando i tempi di reazione della resina. Un importante vantaggio offerto dal processo di stampaggio per infusione è rappresentato dal fatto che è possibile utilizzare anche le fibre riciclate e i mesh di fibre miste. In questo modo vengono ridotti in modo consistente i costi del materiale del componente, in particolare nel caso delle fibre di carbonio quando diventa possibile riutilizzare gli scarti derivanti dal processo di preformatura, evitando così inutili sprechi.

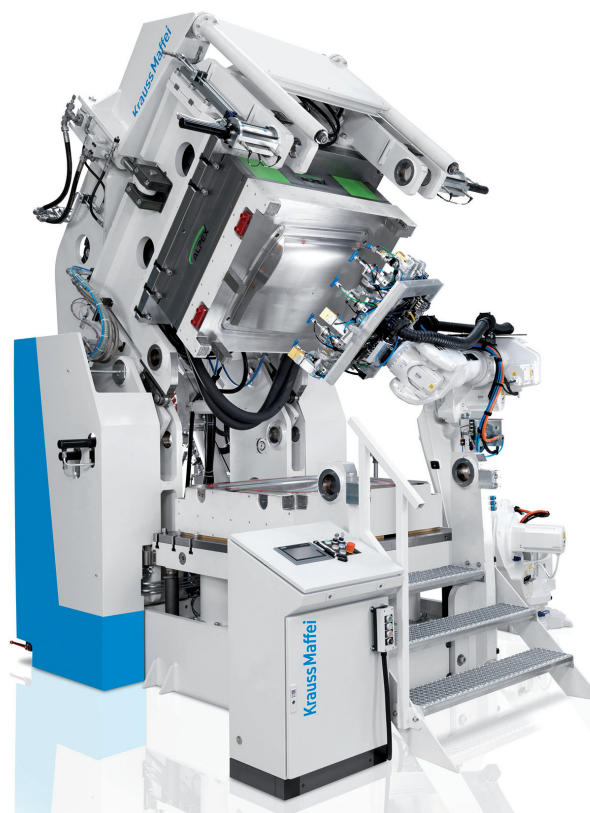


process initially takes place with the mold closing movement. The width of the applied resin layer can be adjusted to meet process requirements, for example by adjusting the reaction time of the resin. An important advantage of the wet molding process is that even recycled fibers and random-fiber meshes can be used. This can significantly reduce the material costs of the component, especially when processing carbon fibers, and the fiber scraps from the preforming process can be reused, preventing waste.

**Surface RTM – paintable surfaces directly out of the mold – without post-mold processing**

Another important topic is efficient surface finishing of carbon fiber-reinforced components. A production cell for this application as an approximation of series production were presented at K 2013. The roof shells contain a carbon fiber volume of 50% in a

Fig. 5 The quick closing movements of the new RTM mold carrier in CMC design ensure that process times are short  
*I veloci movimenti di chiusura del portastampi RTM nel CMC assicura brevi tempi di processo*



polyurethane (PUR) matrix and come out of the mold with a directly paintable surface since the fiber structure does not stand out on the surface. Intermediate processes such as priming or pre-painting have been omitted, making downline finishing easier. This drastically reduces post-mold processing costs, which can be a major part – up to 60

percent – of unit manufacturing costs. Enormous interest has been expressed by international automakers as well as developers of utility vehicles and trim parts. A dry preform is produced from preassembled semifinished products and a binder in an automated process. This is the key to cost-effective mass production of CFRP automotive components.

Until now, this was done in a manual or only semi-automated process. When the preform is inserted into the mold, the mold carrier closes. The mold is closed to a defined gap dimension and the polyurethane mixture for the substrate is distributed in the gap. After the mold closes and a short reaction time has passed, the polyurethane matrix is cured. The mold-halves are again opened to create a gap for another flow-coating with a polyurethane layer. For the new process, it has been developed an additional new RTM mold carrier as well as specially adapted metering systems and mixing heads for the high-pressure area (fig. 5). With fast-reacting matrix resins, this attains cycle times of 5 to 7 minutes, enabling big runs in a short time with high quality. A 50 percent fiber content in the substrate ensures high rigidity and durability while keeping the component weight low (fig. 6).

**RTM superficiale – superfici verniciabili appena fuori dallo stampo senza trattamenti**

Un'altra importante tematica è l'efficace finitura superficiale dei componenti in carbonio fibrorinforzati. Al K 2013 è stata presentata una cella di produzione destinata a questa applicazione che rappresenta il prototipo per la produzione in serie. I componenti del tettuccio contengono un volume in fibra di carbonio pari al 50% in una matrice poliuretanicca (PUR) e vengono estratti dallo stampo pronti per la verniciatura in quanto la struttura della fibra non emerge in superficie. I processi intermedi quali l'applicazione del primer o la preverniciatura sono evitati, rendendo così più rapida la finitura. In questo modo si riducono drasticamente i costi

di processo post-formatura, che possono costituire una parte consistente - fino 60% - dei costi di produzione del componente. I produttori dell'industria automobilistica internazionale hanno manifestato un grande interesse per questa tecnica così come quelli di mezzi da lavoro e di componenti rifiniti.

Grazie a un processo automatizzato, dai prodotti semifiniti preassemblati si ricava un preformato essiccato e un legante, la chiave di volta della produzione su scala industriale ad efficacia di costi dei componenti CFRP in campo automobilistico. Finora, tutto questo è stato realizzato adottando un processo semiautomatico o manuale. Quando il preformato viene inserito nello stampo, il veicolo dello stampo si chiude con un



Fig. 6 The roof segment of the Roding Roadster R1 emerges from the machine with a brilliant polyurethane finish and is therefore ready for painting  
*Particolare del tettuccio del Roding Roadster R1 che esce dallo stampo con un finissaggio brillante al poliuretano e pronto per la verniciatura*

gap dimensionale predefinito e la miscela poliuretanicca per il substrato, distribuita in questo. A chiusura avvenuta dello stampo e a seguito di un breve periodo di reazione, la matrice poliuretanicca

viene reticolata. I metàstampi vengono riaperti per creare un gap per la successiva operazione di scorrimento del prodotto di rivestimento con uno strato di poliuretanicche. Per il nuovo processo, KraussMaffei ha messo a punto un nuovo veicolo di stampaggio RTM insieme a un sistema dosatore specificatamente adattato e a testine di miscelazione per l'area ad alta pressione (fig. 5). Con le resine a reazione veloce, il ciclo di lavoro corrisponde a 5-7 minuti, per cicli di produzione accelerati e di alta qualità. Il 50% di contenuto di fibra nel substrato garantisce una elevata rigidità e durabilità mantenendo un peso ridotto del componente (fig. 6).