

A new generation of aesthetic composites based on styrenic co-polymers

Pierre Juan, Eike Jahnke, Philipp Deitmerg - INEOS STYROLUTION



INTRODUCTION

Continuous fiber reinforced thermoplastics are gaining growing importance in various industries due to their lightweight potential, high freedom of design and applicability in mass production. Apart from their exceptional mechanical performance, however, composite thermoplastic parts currently based on semi-crystalline polymer matrices (PA, PP) usually allow only for a limited surface quality. The imprint of the fiber reinforcement due to shrinkage/ warpage of the matrix and “read-through” of the back molded structural ribs are major reasons. Hence, the applications of composite thermoplastics are so far focused on structural parts without particular aesthetical value.

In a project with R&D partners from academia

and industry, a new generation of high strength fiber-reinforced composites based on styrenic copolymers was developed.

This project focused on the evaluation of specific styrene copolymers as a lightweight, robust and aesthetic component. It is supported by the research institutes NMF (Neue Materialien Fürth GmbH) as well as NMB (Neue Materialien Bayreuth GmbH).

PERFORMANCE OF STYRENIC COPOLYMERS COMPOSITE IN SEMI-STRUCTURAL APPLICATIONS
StyLight* (Trade Mark

application pending) is the brand name of this new generation of thermoplastic composites

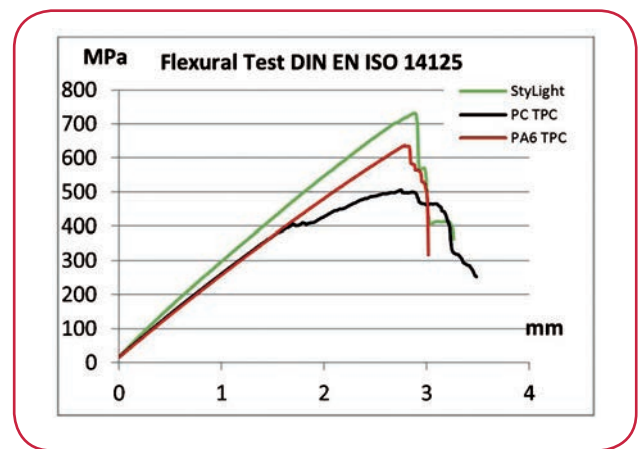


Fig. 1 - Stress deflection curve StyLight* vs PA & PC (measured at NMF)
Curva sforzo deflessione di StyLight vs PA & PC (misurati da NMF)

Una nuova generazione di compositi estetici basata su copolimeri stirenici

Pierre Juan, Eike Jahnke, Philipp Deitmerg - INEOS STYROLUTION



INTRODUZIONE

I materiali termoplastici rinforzati a fibra continua sono sempre più utilizzati in diversi settori industriali per la loro leggerezza e per l'elevata libertà sia di progettazione che di applicabilità nella produzione su scala industriale. Tuttavia, oltre alle loro eccezionali prestazioni meccaniche, i componenti in composito termoplastico, costituiti normalmente da matrici polimeriche semicristalline (PA, PP), solitamente non forniscono una qualità superficiale soddisfacente. I motivi principali sono dovuti all'effetto causato dalle fibre di rinforzo sul ritiro/distorsione della matrice polimerica e

dalla “visibilità” delle nervature strutturali retrostampate.

I compositi termoplastici sono stati quindi finora utilizzati per parti strutturali che non richiedessero particolari proprietà estetiche.

In collaborazione con i centri di ricerca del mondo accademico e dall'industria è stata messa a punto una nuova generazione di compositi ad alta resistenza basata su copolimeri stirenici e rinforzata con fibre. Questo

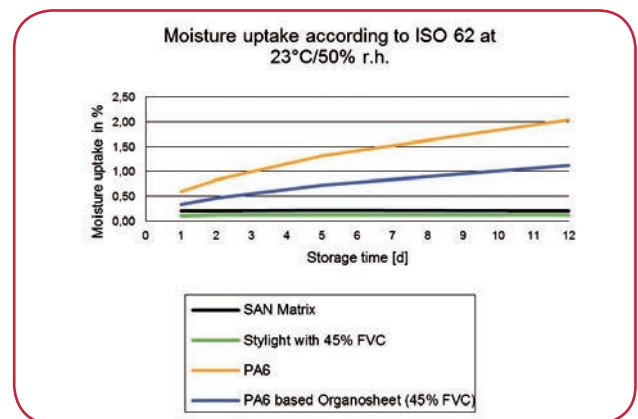


Fig. 2 - Moisture uptake StyLight*vs PA6
Assorbimento di umidità StyLight* vs PA6

from Ineos Styrolution. It features an excellent mechanical performance profile being on par with today's most advanced (PA6 or PC based) thermoplastic composites in the market place (Fig. 1; four layers woven glass fabric with 45% GF volume content in dry

conditions measured on 2 mm thick test bars). Moreover, the low water absorption (Fig. 2) of the amorphous styrenic copolymer, combined with its high glass transition temperature of 110C, provides high mechanical stability over a large temperature range.

Launched at "K" show 2016, it remains a relatively young material, but it has been already developed and proposed as commercial product portfolio to fulfil the requirements of the targeted applications: the Aesthetic S



Material for back injection <i>Materiale per iniezione</i>	Unit <i>Unità</i>	Validated for StyLight Aesthetic <i>Convalidata per Stylight Estetica</i>		Validated for StyLight Structural <i>Convalidata per Stylight Strutturale</i>	
		Terblend N NG-02EF SL	Terblend N NG-04EF SL	Novodur BX6137*	Terblend N NG-06EF SL
Base resin <i>Resina di base</i>	-	ABS/PA GF	ABS/PA GF	ABS GF	ABS/PA GF
Fiber content <i>Contenuto di fibre</i>	%	8	20	16	30
Melt Volume Rate 240 °C/10 kg <i>Tasso di volume di fusione 240 °C/10 kg</i>	cm ³ /10 min	40	30	18*	8

* In development stage

Fig. 3 - Portfolio of "SL" grades optimized for back injection molding for StyLight* composites
*Portfolio dei gradi "SL" ottimizzati per retro-stampaggio ad iniezione dei compositi StyLight**

progetto, supportato dagli Istituti di Ricerca NMF (Neue Materialien Fuert GmbH) e NMB (Neue Materialien Bayreuth GmbH) si è concentrato sulla valutazione di specifici copolimeri stirenici come componenti dal peso ridotto, resistenti ed esteticamente validi.

PRESTAZIONI DEI COMPOSITI BASATI SU COPOLIMERI STIRENICI IN APPLICAZIONI SEMISTRUTTURALI

StyLight* (Registrazione Marchio depositata) identifica la nuova generazione di compositi termoplastici prodotti da Ineos Styrolution. Si distinguono per l'eccellente profilo delle performance meccaniche, pari a quello dei più avanzati compositi termoplastici (a base di PA6 o PC) presenti sul mercato (Fig. 1; quattro strati tessuto al 45% di fibra vetro in volume, misurato in condizioni asciutte su barre da test spesse 2 mm.).

Oltre a questo, il ridotto assorbimento di acqua (Fig. 2) del copolimero stirenico amorfo, associato alla sua elevata temperatura di transizione vetrosa di 110°C, offre un'elevata stabilità meccanica su un vasto range di temperature. Lanciato al "K" 2016, è un materiale relativamente giovane, ma l'azienda ha già sviluppato e proposto un portfolio di prodotti in grado di soddisfare i requisiti di ben definite applicazioni. Il portfolio è diviso in due gruppi: "Aesthetic S" è stato ottimizzato per applicazioni semistrutturali-estetiche, "Structural S", è stato ottimizzato per applicazioni prettamente strutturali che non richiedono performance estetiche. I prodotti proposti sono su base tessuti fibra vetro, tessuti fibra vetro unidirezionali (NCF) e anche, per applicazioni estetiche semistrutturali, su base tessuti fibra di carbonio. Queste differenti tipologie offrono una moltitudine di proprietà

meccaniche, di qualità superficiali e di possibilità di trattamento. I laminati sono disponibili in molti spessori, a partire da 0,25 mm fino a 5 mm, in nero e in colore naturale. Alla serie di prodotti "Aesthetic S" (Fig. 3), su richiesta, può essere applicato uno strato aggiuntivo al fine di aumentare la qualità estetica della superficie. Al momento tutti questi prodotti sono basati su un unico tipo di matrice, ad esempio una matrice su base SAN modificato (indicata dalla "S" nel nome del prodotto). Il composito laminato termoformato è nella maggior parte dei casi solo un componente dell'applicazione e per le parti tridimensionali utilizzate nelle applicazioni automotive, elettroniche o sportive è richiesto spesso un ulteriore rinforzo retro-stampato ad iniezione. A tale scopo, per ottimizzare l'adesione sul





is optimized for aesthetic semi-structural applications and on the other hand, the Structural S is optimized for structural, non-visible applications. The proposed products are based on glass woven fabrics, glass non-crimp fabrics (NCF) as well as one woven carbon fiber grade for aesthetic semi-structural applications. These different textile types offer a diversity of mechanical properties, surface qualities and drapabilities. StyLight* sheets are available in any thickness from 0.25 mm up to 5 mm and in black or natural color.

The "Aesthetic S" product range (see Fig. 3) is available with or without a fleece, and an extra thermoplastic layer can be applied on demand on the visible side of the application. Until now all these products are based on one single type of matrix, i.e. a modified SAN matrix (expressed by the "S" in the product name). The thermoformed composite sheet is in most

cases only one component of the application, a back injection molded reinforcement is typically needed for three-dimensional parts used in automotive, electronic or sports applications.

For that purpose, different high flow injection molding materials were developed and validated to optimize adhesion on the sheet.

Consequently, the performance of the finished part will be determined by the combination of both components, the composite "skin" and the back injected molded material. Adhesion between both components has been measured on simple rib test tools to find the optimum material properties offering strength,

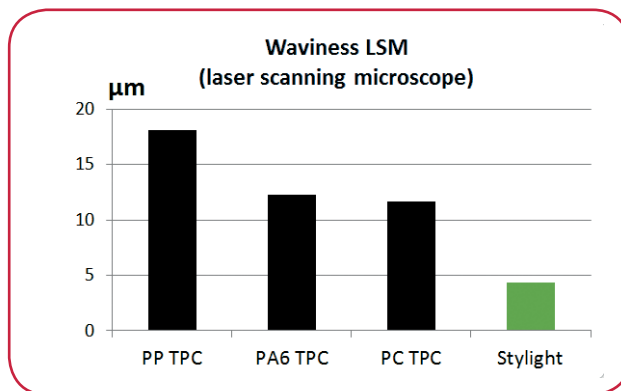


Fig. 4 - Comparative surface waviness (LMS method measured at NMF in Fürth)
Ondulazione superficiale comparata (metodo LMS misurato dal NMF di Fürth)

surface quality, adhesion and high flow to fill thin ribbing design, resulting in a portfolio of short glass fiber reinforced ABS/PA blends (Terblend® N) and ABS (Novodur®), they are identified with the suffix "SL" (Fig. 3).

The results of fatigue tests are showing the good performances of StyLight* carrying a flexural load of 250 MPa after more than 2 Million cycles (tests performed with a balanced glass fiber fabric at IVW, Kaiserslautern).



Fig. 5 - StyLight* made of carbon fiber 3K twill 2/2 with clear coating
StyLight* realizzato con twill 3K 2/2 in fibra di carbonio e finitura trasparente



laminato, sono stati sviluppati e validati diversi materiali ad elevata fluidità per stampaggio a iniezione.

Di conseguenza, le proprietà della parte finita è determinata dalla combinazione di entrambi i componenti, lo "skin" in composito StyLight* ed il materiale retro-iniettato. L'adesione fra i due componenti è stata misurata al fine di definire le proprietà ottimali del materiale da retroiniettare, quali la resistenza, la qualità superficiale, l'adesione e la fluidità.

Sono stati selezionati gradi su base ABS o ABS/

PA entrambi rinforzati con fibra vetro corta (Terblend® N e ABS (Novodur®) ed identificati con il suffisso "SL" (Fig. 3).

I risultati dei test della resistenza a fatica mostrano la buona prestazione di StyLight* che sopporta un carico a flessione di 250 MPa dopo più di 2 milioni di cicli (test eseguito con un tessuto in fibra di vetro, presso IVW, Kaiserslautern).

PROPRIETÀ ESTETICHE

Le eccellenti proprietà estetiche del composito offrono un vantaggio significativo. Lo scarso

ritiro durante la fase di consolidamento della matrice stirenica copolimerica amorfa a base SAN modificato attenua in modo significativo la rugosità superficiale ("ondulazioni") offrendo una superficie di qualità superiore rispetto ai compositi termoplastici standard (Fig. 3).

COMPOSITO TERMOPLASTICO BASATO SU UNA MATRICE TRASPARENTE

Questo composito recentemente sviluppato a base di SAN non contiene materiali polimerici semicristallini né richiede ulteriori modifiche per l'impatto o plastificanti. I laminati risultanti presentano una matrice trasparente offrendo così nuove potenzialità estetiche.

Il tessuto in fibra di carbonio diventa visibile attraverso la matrice trasparente e offre una interessante alternativa, nelle applicazioni estetiche, all' "effetto carbonio" ottenuto da resine

SURFACE AESTHETICS

The composite's outstanding surface properties offer a significant advantage. The lower shrinkage during the consolidation step of our amorphous styrenic copolymer matrix based on a modified SAN reduces the surface roughness ("waviness") significantly, offering a superior surface quality compared to most existing standard thermoplastic composites (Fig. 3).

A THERMOPLASTIC COMPOSITE BASED ON A TRANSPARENT MATRIX

This newly developed SAN based composite neither contains semi-crystalline polymer domains nor requires any additional impact modification or plasticizers. The resulting sheets have a transparent matrix, and this is opening interesting aesthetic potential. The carbon fiber woven fabric becomes now visible through the transparent matrix, offering an interesting



Fig. 6 - Translucent StyLight* with glass fiber woven fabrics
StyLight traslucido con tessuto di vetro*

alternative to thermoset based "carbon design" for decorative applications (Fig. 4). There is currently a multitude of different technologies used to provide this "carbon design" associated with high performance car racing and professional sports equipment. Typically, the main challenge with these

technologies is to prevent the sensitive carbon fabric pattern to be disrupted during the draping and the impregnation process resulting in visible surface defects. With StyLight* Aesthetic S C 200-1-100 sheet, the layers of carbon fabric are within the SAN matrix, delivered as a laminate, limiting the risk for the fibers to move during the thermoforming process.

The cycle time will be closer to a couple of minutes, and the parts can be back injection molded, resulting in a lower reject rate, labor and processing cost. Alternative transparent thermoplastic composite based on TPU or PA12 resins are typically very expensive and do not offer the high glossy surface quality. It is recommended to paint the surface with a clear coat to protect it from scratch, chemical and UV aggression, while enhancing further the surface quality.

With glass fiber woven fabrics (see Fig. 6), the product appears translucent with a high gloss surface finish. This is adding an interesting new feature which could



Fig. 7 - Demonstrator / Dimostratore

termoindurenti (Fig. 4). Esistono diverse tecnologie, applicate alle vetture sportive ed alle attrezzature sportive professionali, per raggiungere l'"effetto carbonio". Tipicamente, la sfida principale nell'utilizzo di queste tecnologie è evitare che la delicata fibra di carbonio si rovini durante la lavorazione o durante il processo di impregnazione dando luogo a difetti superficiali. Con i fogli StyLight* Aesthetic S C 200-1-100, gli strati di tessuto di fibra di carbonio si trovano all'interno della matrice SAN del prodotto laminato, limitando l'eventualità che le fibre si spostino durante il processo di termoformatura. La durata del ciclo

è circa di due minuti e le parti possono essere retro-stampate per iniezione con una riduzione dei costi derivanti da scarti lavorazione e trattamenti aggiuntivi. I compositi alternativi a base di termoplastiche trasparenti, come TPU o PA12 sono molto costosi e non offrono la possibilità di ottenere superfici "High gloss".

Si raccomanda di verniciare la superficie con un rivestimento trasparente per proteggerla da graffi, agenti chimici e dall'aggressione degli UV, apportando così nel contempo ulteriori migliorie alla qualità estetica del manufatto.

Nei tessuti con fibra vetro (Fig. 6), il prodotto appare traslucido e dotato di una finitura superficiale

molto brillante. Ciò aggiunge una nuova caratteristica che potrebbe essere utilizzata per applicazioni decorative con retroilluminazione ad un costo competitivo rispetto ad altre soluzioni in compositi termoplastici o termoindurenti.



DIMOSTRATORE

Per convalidare questi promettenti risultati di laboratorio e le tecniche produttive, è stato deciso di investire in uno stampo prototipo in acciaio in grado di combinare differenti caratteristiche. Il pannello porta è stato scelto in quanto, oltre a presentare forme complesse (Fig. 7), combina varie problematiche sia di costruzione che di produzione.

Nel design del "dimostratore" sono state integrate diverse soluzioni estetiche superficiali ed un rinforzo semistrutturale.



be used for backlit decorated applications at a competitive price level versus other thermoplastic or thermoset composite solutions.

DEMONSTRATOR

In order to validate these promising laboratory results and to validate the manufacturing behavior, it was decided to invest in a real size prototype mold made of steel, combining different features. The concept of a door panel design was selected as it combines different construction and manufacturing challenges as well as complex shapes to demonstrate the product performance (Fig. 7).

Different surface aesthetics and a semi-structural reinforcement have been integrated in the demonstrator design.

INDUSTRY APPLICATIONS FOR THE NEW MATERIAL

The development and launch of this new material is mostly driven by the growing demand of light weight solutions in the automotive industry to contribute to fuel efficiency.

So far, the applications of composite

thermoplastics in the automotive industry have been focussing on the substitution of heavy structural parts typically made of steel but without any particular aesthetical value. Price remains one of the main obstacles slowing down the penetration of thermoplastic composites in the industry.

The high price of the semi-finished sheet, inherent to its manufacturing and raw material cost, added to the significant upfront investment required by the part supplier to develop expertise and to acquire new tooling and handling equipment makes this innovation affordable only to a relatively small market potential.

One of the solutions to reduce system costs is to integrate structural and aesthetic functions, reducing the number of components for a given application.

For this purpose Ineos Styrolution partners with KTM, a creative engineering office to develop and propose innovative design concepts for a selected number of applications.

CONCLUSION

For the first time, a new type of thermoplastic composite based on an amorphous styrenic

matrix was developed.

The material, is available based on different types of textiles of woven and NCF glass and carbon textiles designed for aesthetic or structural applications, offers unique mechanical properties suitable for structural applications thanks to its very high stiffness and strength, combined with a high surface quality.

This material will potentially extend the scope of thermoplastic composite applications to visible or decorated parts in the automotive interior or in any high performance aesthetic applications, thus enabling automotive manufacturers to address the demand to cut on weight also in areas where aesthetics matters.

With a significant thickness reduction versus an injection moulded part resulting in significant weight reduction, such a composite solution will only be economically viable if it can integrate different functions and components into one single reinforced modular design.

This integration would result in a reduction of the total number of parts, the substitution of metal reinforcements, and enables new lightweight design concepts.



APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEL NUOVO MATERIALE

Lo sviluppo e il lancio di questo nuovo materiale è trainato principalmente dalla crescente domanda dell'industria automobilistica verso soluzioni che portino a componenti più leggeri e di conseguenza ad una migliore efficienza energetica dei veicoli.

Finora, le applicazioni dei compositi termoplastici nell'industria automobilistica si sono concentrate sulla sostituzione di parti strutturali pesanti, tipicamente realizzate in acciaio e prive di valore estetico. Il costo rimane uno dei principali ostacoli che rallentano l'introduzione dei compositi termoplastici nell'industria.

L'alto costo dei laminati semifiniti, strettamente legato ai prezzi del materiale ed ai costi di produzione, oltre all'investimento richiesto al fornitore del manufatto per acquisire nuove

attrezzature e sviluppare la tecnica per la lavorazione, rende al momento questa innovazione accessibile soltanto a un mercato di nicchia.

Una delle soluzioni per ridurre i costi del sistema è l'integrazione delle funzioni strutturali ed estetiche, riducendo il numero dei componenti per una data applicazione. A tal fine, Ineos Styrolution coopera con KTM, un ufficio di ingegnerizzazione che sviluppa e propone tecniche progettuali innovative per un numero selezionato di applicazioni.

CONCLUSIONI

Per la prima volta, è stato sviluppato un nuovo composito termoplastico basato su una matrice stirenica amorfa.

Il materiale, in base alle differenti tipologie di tessuti di rinforzo, fibre di carbonio o di vetro, è indicato per applicazioni estetiche o

strutturali e offre, grazie all'elevata rigidità e tenacità proprietà meccaniche uniche, adatte ad applicazioni strutturali, unite ad una elevata qualità superficiale.

Questo famiglia di materiali ampliarà l'area di utilizzo delle applicazioni dei compositi termoplastici alle parti estetiche e decorative degli interni dei veicoli, consentendo così ai produttori di automobili di ridurre il peso dei componenti pur mantenendo gli elevati requisiti estetici.

La soluzione in materiale composito e la relativa riduzione significativa degli spessori rispetto allo stampaggio ad iniezione, sarà economicamente fattibile solo integrando varie funzionalità e componenti in un unico progetto. Questa integrazione porterebbe alla sostituzione dei rinforzi metallici ed una riduzione del numero totale di componenti offrendo così nuove possibilità nella progettazione di manufatti sempre più leggeri.