Aircraft landing gear doors manufactured faster, lighter and cost effectively

Uwe Lang - Evonik, Sandwich Technology division

The fully tested and approved nose landing gear doors of a Dornier 728 have been redesigned using Evonik's new Rohacell® Hero polymethacrylimide (PMI) closed cell rigid structural foam core material for a cost and weight comparison. A foam core/infusion design has been compared with a typical honeycomb/prepreg design. The foam/infusion design resulted in an out of autoclave (OoA) finished part with 25% lower overall manufacturing costs and a 19% weight saving for the landing gear door, produced in almost half the time. These significant savings in both weight and cost using a foam core is likely to influence future composite component designs and prompt the reengineering of some existing aircraft components, especially parts with more complex, curved and angled geometric shapes.

Independent redesign project

This cost and weight evaluation redesign project was independently carried out by the Composite Technology Centre GmbH (CTC), located in Stade, west of Hamburg in northern Germany. CTC, a wholly owned subsidiary of Airbus, specialises in composite processing technologies. Its primary objective is to develop cost effective serial production technologies for the fabrication and assembly of lightweight, carbon fibre reinforced plastic (CFRP) components for aircraft construction. Back in 2013, CTC had a number of projects running to evaluate higher productivity and lower cost methods of fabricating lightweight CFRP sandwich parts for class A and B aircraft applications. Evonik submitted samples of its new, damage tolerant foam core to the CTC project team to evaluate the high performance core as an alternative material to honeycomb; a key time and cost advantage of using a foam core is that it can be processed in one shot without the need for autoclaving. According to Evonik, from the current Rohacell® foam core PMI material grades available, the latest range has significantly higher elongation (9-10%) and minimized resin absorption, along with the best impact damage resistance and visual detectability, hence its suitability for this type of exterior aircraft application.

To obtain meaningful comparative processing data, CTC evaluated three aircraft carbon fibre reinforced sandwich construction design options: (1) autoclaved honeycomb core (64 kg/m^3, 4.8mm)/ epoxy prepreg resin system; (2) autoclaved Hero core/ epoxy prepreg; and (3) infused Hero core/ liquid epoxy resin. The results of the three design evaluations proved that both foam core options took

Produzione veloce di porte carrello d'atterraggio leggere e con costi contenuti

Uwe Lang - Evonik, divisione Sandwich Technology

Al fine di confrontare costi e peso, le porte (già testate ed approvate) del carrello anteriore di un Dornier 728 sono state ridisegnate utilizzando il nuovo materiale prodotto da Evonik, Rohacell® Hero (lastre in PMI Polimetacrilimmide con anima interna a celle chiuse e rigide). Il design dell'espanso interno/infusione è stato confrontato con una tipica struttura a nido d'ape/prepreg. Il design dell'espanso interno/ infusione è risultato produttivo per il pezzo finito fuori ciclo autoclave (out of Autoclave OoA) con una diminuzione di circa il 25% sui costi di produzione e il 19% di maggiore leggerezza del carrello di atterraggio, prodotto in circa la metà del tempo. Tali significativi risparmi (dovuti all'utilizzo di un'anima espansa interna) sia a livello di peso che di costi, influenzerà il design futuro di componenti compositi e stimolerà la riprogettazione di alcuni componenti aeronautici, in modo particolare di parti con forme geometriche più complesse, curve ed angolate.

Progetto indipendente di nuovo design

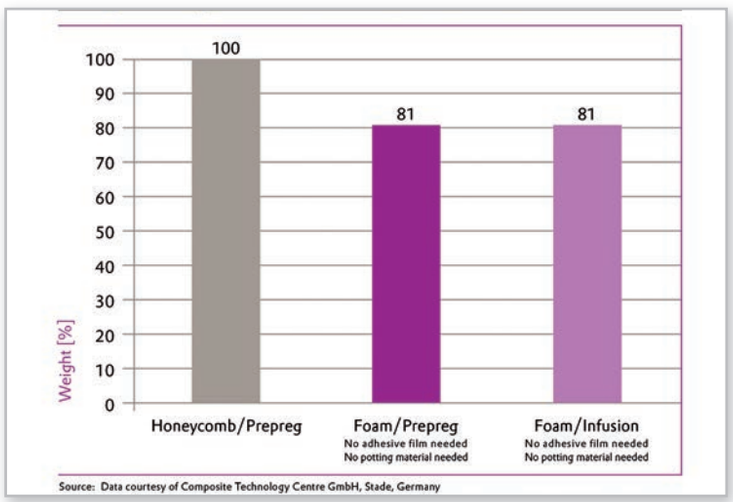
Tale progetto di nuovo design con valutazione di costi e peso è stato portato avanti in modo autonomo dal Composite Technology Centre GmbH (CTC), sito a Stade, ad ovest di Amburgo, nel nord della Germania. CTC è una consociata interamente controllata da Airbus ed è specializzata in tecnologie produttive di compositi. Il suo obiettivo principale è quello di sviluppare tecnologie di produzione seriale con efficienza di costo per la fabbricazione e l'assemblaggio di componenti plastici in fibra di carbonio rinforzata e leggera (CFRP) per la costruzione di aerei.

Già nell'anno 2013 CTC aveva in corso un certo numero di progetti volti alla valutazione di una maggiore produttività con costi limitati per la produzione di elementi sandwich in CFRP destinati ad aerei di classe A e B. Evonik presentò al team di progettisti CTC dei campioni del suo nuovo materiale dall'anima interna espansa per valutare il suo elevato livello di performance in alternativa al materiale a nido d'ape. Il vantaggio, in termini di tempo e di costi, dell'utilizzo di un prodotto dall'anima espansa è che la lavorazione può avvenire in un unico momento senza il passaggio in autoclave.

A parere di Evonik, rispetto alla già esistente gamma Rohacell®, la più recente tipologia possiede un significativo maggiore grado di allungamento (9-10%) e un assorbimento di resina minimizzato, insieme a una migliore resistenza agli urti, e può essere

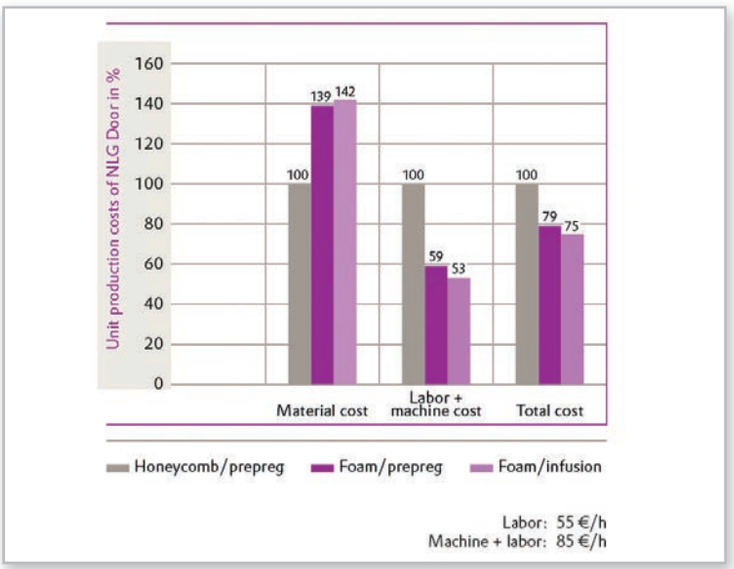
significantly less time and cost to produce.
The autoclaved epoxy prepreg option was calculated to be 21% cheaper overall than the honeycomb design.
However, the epoxy infusion resin OoA option proved to be the lightest design (-19%) and lowest overall cost option to produce (-25%), taking 18 hours less time (-43%) to fabricate, so providing a significant productivity benefit. (Fig. 1 and 2)

Fig. 1
Weight comparison Dornier 728 NLG door / *Confronto peso porte carrello Dornier 728 NLG*



sfruttato anche per altre tipologie di applicazioni non solo nel settore aeronautico.
Al fine di ottenere un'utile elaborazione comparativa dei dati, CTC ha valutato tre progetti di costruzione di pannelli sandwich in fibra di carbonio rinforzata: (1) struttura a nido d'ape in autoclave (64 kg/m³, 4.8 mm)/sistema di resina epossi-

Fig. 2
Cost comparison NLG door / *Confronto costo porta NLG*



Comparative production times and costs

The production time of 42 hours for the honeycomb/ prepreg design reduced to only 24 hours for the infused 'single shot' foam core design option.

This was primarily due to the elimination of two key steps in the 'two shot' curing process needed for the autoclaved honeycomb/ prepreg design; both the lengthy prepreg core preparation time and the need to separately first cure, demould and then integrate the carbon fibre reinforced outer skin with the honeycomb prior to the second stage cure, are all avoided with an infused closed cell foam core laminate design. The net result was a near doubling of moulding capacity (Fig. 3)

It was pointed out by CTC that these significant savings in time and cost have been achieved for a part with comparatively simple geometry; as the complexity in the shape and curvature of a part increases, the savings in processing time and costs exponentially increase in favour of an infused foam core over an autoclaved honeycomb laminate design. Remo Hinz, R & D Project Leader, CTC commented: "With the new Hero core production cost could be reduced, as it enabled us to use a simplified manufacturing process compared

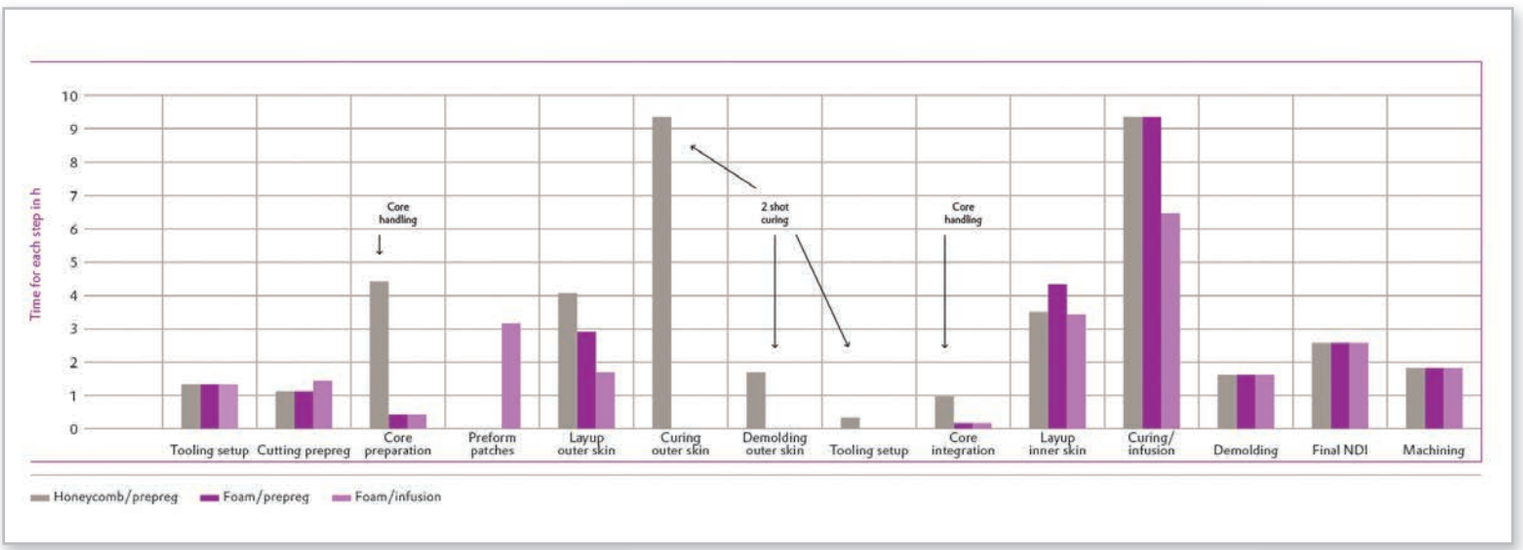


Fig. 3
Comparison of time by process step / *Comparazione dei tempi di processo*

Pre- shaped core parts were NC machined by Evonik's shapes department and shipped 'ready-to-use' to INVENT GmbH
Materiale in schiuma preformato, lavorato a controllo numerico e spedito, pronto all'uso a INVENT GmbH

Comparazione tra tempi di produzione e costi

Il tempo di produzione di 42 ore per l'opzione nido d'ape/prepreg si è ridotto a sole 24 ore per l'opzione del design 'single shot' anima interna a schiuma. La riduzione è stata possibile soprattutto grazie all'eliminazione di due passaggi chiave nel procedimento 'two shot' curing necessario all'opzione a nido d'ape in autoclave prepreg. Sia il lungo tempo di preparazione del core prepreg, che la necessità di prima "cura" separata, sformano e successivamente integrano il rivestimento esterno in fibra di carbone rinforzato con la struttura a nido d'ape precedente al secondo step cure. Tutto ciò può essere evitato con la tecnologia anima interna a celle chiuse in infusione. Il risultato finale è stato quasi un raddoppiare la capacità di stampaggio. (Fig. 3)

CTC ha sottolineato che questi significativi risparmi in termini di tempo e di costi sono stati raggiunti per pezzi con geometria relativamente semplice. Man mano che la complessità della forma e della curvatura di un particolare aumentano, i risparmi nel tempo di produzione e nei costi aumentano in modo esponenziale a vantaggio dell'anima interna in infusione e a discapito del design della struttura laminata a nido d'ape in autoclave.

Remo Hinz, R & D Project Leader di CTC, ha affermato: "Con la nuova produzione Hero i costi si sono ridotti, in quanto questo ci permette di utilizzare un processo produttivo semplificato rispetto alla struttura a nido d'ape. Le caratteristiche della struttura

to honeycomb. The characteristics of Hero foam made it possible to adapt the design for better manufacturing without a weight penalty.
A key redesign requirement was equal performance, which we expect to be confirmed in further planned tests. Additional potentials to further reduce weight may be possible by milling the foam core to a load path optimised shape."

The nose landing gear doors of a Dornier 728, have been redesigned using the closed cell foam core
Le porte carrello di atterraggio di un Dornier 728 ridisegnate utilizzando materiale d'anima a celle chiuse

Infused foam core design production

The nose landing gear doors with the Hero core/ epoxy infusion resin design option were fabricated by INVENT GmbH based in Braunschweig, Germany.
The resin infusion process is known from previous commercial projects to be significantly faster and more cost effective compared with using a prepreg and autoclaving. The optimised infusion laminate design used 71Hero core foam (the lowest density grade @ 75 kg/ m^3), woven carbon fibre fabrics, and RTM 6, an Airbus qualified Hexcel epoxy resin.
The foam core material was supplied pre-shaped as an insert piece, NC machined to the precise dimensions needed from a sheet of core foam.
The 'ready-to-use' pre-shaped core parts were produced by shapes department and shipped to INVENT to build the evaluation part.
Unlike a honeycomb core, all Rohacell PMI foams have a closed cell structure.
This lack of open cavities in a closed cell foam core is a major production benefit as a fabricator no longer needs to apply either a core filling paste 'potting material', as there are no open edges to seal, or an adhesive film to bond the core to the skins; a foam cored part can be simply infused in one shot.
As well as saving costs by removing both the potting material and the adhesive from the bill of materials, production data from the CTC comparative trials logged the elimination of four hours of preparation time.

Fig. 4a
NDT Impact Test: ROHACELL® Hero Foam Vs Honeycomb
Test resistenza NDT: schiuma Hero vs nido d'ape

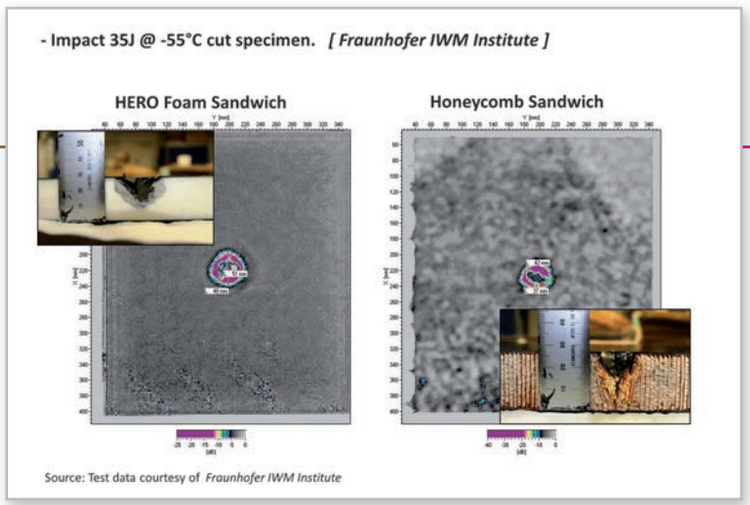
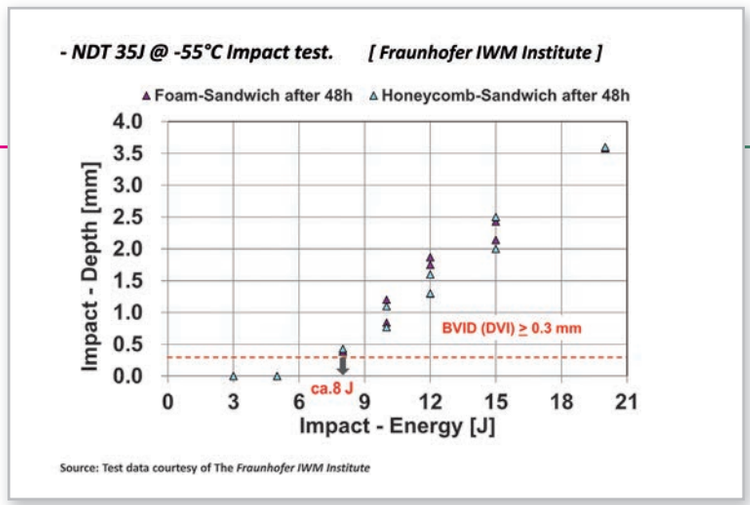


Fig. 4b
Comparative Impact Depth (-55°C) after 48 hrs
Confronto resistenza interna (-55°C) dopo 48 pre



schiuma Hero hanno consentito di adattare il design per ottenere una migliore produzione senza penalità di peso. Un requisito fondamentale della riprogettazione è stata una performance di pari livello che ci aspettiamo venga confermata in ulteriori test in programma. Altre misure per ridurre ulteriormente il peso sarebbe possibile fresando la schiuma interna per ottenere l'ottimizzazione della forma.

Produzione di anima interna con processo di infusione

Le porte del carrello anteriore progettate con l'opzione dell'anima Hero/resina epossidica infusa sono state fabbricate dalla società INVENT GmbH sita a Braunschweig in Germania. Il processo di infusione di resina è già noto da precedenti progetti commerciali per essere significativamente veloce e di costo più ridotto rispetto all'utilizzo di prepreg e autoclave. L'ottimizzato design laminato in infusione ha utilizzato l'anima interna Hero71 (il minore grado di densità @ 75 kg/m^3), i tessuti in fibra di carbonio, e RTM 6, una resina epossidica Hexcel Airbus qualificata. Il materiale in schiuma è stato fornito preformato come pezzo da inserto, lavorato a controllo numerico nella dimensione esatta richiesta da una lastra con anima interna espansa. I pezzi interni 'pronti all'uso' sono stati prodotti da laboratori appositi è sono stati spediti da INVENT per costruire la parte in valutazione.
A differenza di un'anima a nido d'ape, tutte le schiume in PMI Rohacell® hanno una struttura a celle chiuse. La mancanza di cavità aperte in un'anima espansa a celle chiuse rappresenta un grande vantaggio per il produttore: non è più necessaria una pasta interna riempitiva

Physical properties / Proprietà fisiche

Property	Test method	Unit	ROHACELL® 71 HERO	ROHACELL® 110 HERO	ROHACELL® 150 HERO	ROHACELL® 200 HERO
Density	ISO 845	kg/m³	75	110	150	205
Tensile strength	ISO 527-2	MPa	4.1	6.3	8.8	12.3
Tensile modulus	ISO 527-2	MPa	123	189	269	389
Elongation at break	ISO 527-2	%	9.5	9.9	10.3	10.8
Compressive strength	ISO 844	MPa	1.1	2.5	4.3	7.1
Compressive modulus	ISO 844	MPa	48	83	124	180
Shear modulus	ASTM C 273	MPa	1.3	2.3	3.5	5.2
Shear strength	ASTM C 273	MPa	28	50	75	109
Maximum shear strain	ASTM C 273	%	7.2	7.2	7.2	7.2

Technical data values presented above are typical for nominal density, subject to normal manufacturing variations.

Source: Physical properties data courtesy of Evonik Industries AG

Fig. 5
Physical properties technical data - ROHACELL® Hero PMI closed cell rigid foam core range
Dati tecnici delle proprietà fisiche della serie ROHACELL® Hero PMI

In service MRO performance

An additional in service benefit of this foam core option over the honeycomb design is lower maintenance, repair and operations (MRO) costs.
The possibilities of skin debonding problems due to water pick up during its service life are avoided with a closed cell core sandwich design.
In contrast, over time, serious MRO issues can occur with a honeycomb sandwich part due to cracking of the epoxy resin or the potting material.
This cracking can lead to formation of water ingress leakage paths into the open cell honeycomb cavities. Any water that collects in the honeycomb core results in internal damage occurring due to the subsequent steam vaporising and then freezing of the water inside the open cavities as the part undergoes the temperature cycling extremes faced by an operational aircraft.
A critical factor the CTC project team also had to take into consideration was the need to use a core material which can provide both damage tolerance and visual damage detectability; structural integrity is a critical safety factor for exterior aircraft parts. This foam core was selected by CTC as a suitable lightweight replacement for honeycomb because it provides the same level of damage resistance and visual inspection detectability and the overall high performance mechanical properties required.
The damage performance of Rohacell® Hero was independently validated by the Fraunhofer IWM Institute in Halle, Germany, which carried out a series of comparative impact tests according to ASTM D7766/D7766M –11 on cut specimen test pieces taken from both the new Hero core foam infused laminate design and the original honeycomb/prepreg laminate system. Impact testing at 35 J impact energy and -55 0C and subsequent NDT confirmed that damage size and depth between the foam specimen and the honeycomb specimen were the same. (Fig. 4a, 4b and 4c)

Future designs and reengineering

The combination of the significant weight, time and overall production cost savings that CTC has proven is possible with an infused foam core provides a compelling reason for an OEM, such as Airbus, to consider a foam core

Dry lay up of carbon fibre fabric onto the Rohacell® Hero foam core with no need for any potting material or an adhesive, saving material costs and four hours of initial core preparation time
Lay up a secco delle fibre di carbonio sulla schiuma Rohacell® Hero, senza bisogno di adesivi con risparmio di tempo e costi

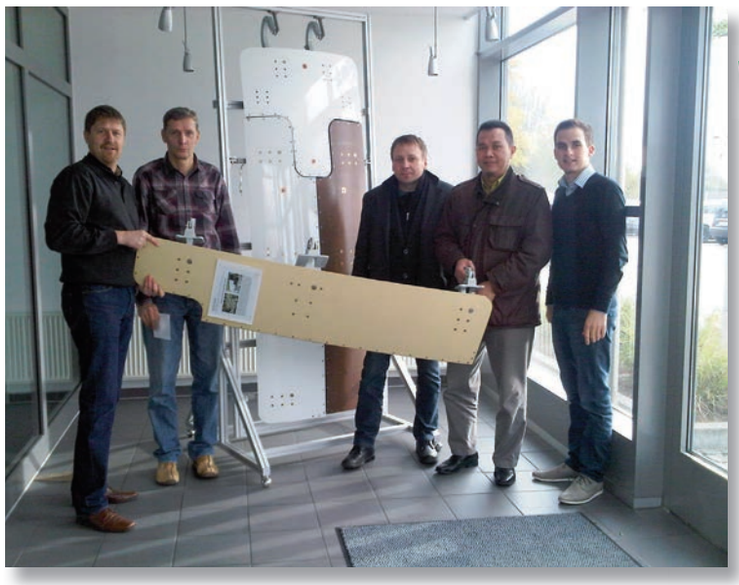
di "materiale isolante" in quanto non ci sono bordi aperti da sigillare o un film adesivo per legare le superfici esterne all'anima interna; una parte interna in schiuma può essere infusa semplicemente in un solo momento.Oltre a risparmiare i costi eliminando sia il materiale isolante sia l'adesivo dai materiali, i dati di produzione dalle prove comparative CTC hanno registrato l'eliminazione di quattro ore nei tempi di preparazione.

Nel servizio di prestazioni MRO

Un ulteriore vantaggio di questa tipologia di schiuma rispetto alla struttura a nido d'ape è una minore manutenzione, minori costi di riparazione e operativi (MRO). Le possibilità di delaminazione delle superfici causata dall'acqua durante il suo ciclo di vita sono evitati con l'opzione di lastra espansa a celle chiuse.
Al contrario, nel tempo, con la struttura a nido d'ape si possono verificare gravi problemi MRO causati dalla rottura della resina epossidica o del materiale isolante. Questa fessurazione può portare alla formazione di percorsi in cui l'acqua si infiltra all'interno delle cavità a nido d'ape. L'acqua che si raccoglie all'interno della struttura a nido d'ape provoca danni interni causati dall'evaporazione e dal successivo congelamento dell'acqua all'interno delle cavità. La parte subisce temperature estreme dovute alle condizioni di un aeromobile in funzione. Un fattore critico che il team di progettisti CTC ha dovuto prendere in considerazione è stata la necessità di utilizzare un materiale di base che può fornire sia tolleranza al danno che la rilevabilità di danno visivo. L'integrità strutturale è un fattore di sicurezza critico per la parte esterna di un aeromobile.
Questa tipologia di anima interna è stata selezionata da CTC come una valida sostituta alla struttura a nido d'ape in quanto fornisce lo stesso livello di resistenza ai danni e rilevabilità di ispezione visiva, oltre alle elevate proprietà di performance meccanica richieste.
Le prestazioni ai danni di Rohacell® Hero sono state convalidate dall'Istituto Fraunhofer IWM ad Halle in Germania.
L'Istituto ha effettuato una serie di prove comparative di impatto secondo ASTM D7766/D7766M – 11 su pezzi provette prese sia dall'anima espansa laminata in infusione Hero, che dall'originale sistema a nido d'ape laminato prepreg. Test di impatto a energia 35 J e - 55°C e successiva NDT, hanno confermato che la dimensione del danno e la profondità tra il campione di schiuma e il campione a nido d'ape erano gli stessi. (Fig. 4a, 4b e 4c).

The foam core/epoxy resin design option, moulded in one shot, was produced in almost half the time, with 25% lower overall costs and a 19% weight saving for each landing gear door
L'opzione anima schiuma/epossidica stampata in una volta ha permesso un risparmio del 25% e un peso inferiore del 19% per ogni portello

for future designs and to invest in reengineering certain existing aircraft components, especially ones with more complex, curved and angled geometric shapes. Professor Herrmann, Head of CTC commented on the overall project results, stating: "To eliminate weight, I am a strong believer that composite sandwich technology is the right way forward for aircraft design where feasible for class A and B parts. While a honeycomb core is usually the lightest sandwich design for simple shaped, flat parts, for a more complex part, a closed cell core foam, such as Rohacell® Hero, is technically the better and safer material to specify as water ingress issues are eliminated and debonding failure risks are significantly reduced due to the greater surface area adhesion of a closed cell foam with the sandwich laminate outer skins." As a follow on from the findings of this evaluation project,



The project team at CTC GmbH, holding the infused Dornier 728 NLG door
Left to right: Uwe Lang, Evonik Industries / Carsten Schöppinger, INVENT / Remo Hinz, Ichwan Zuardy, Benjamin Leohold, CTC
Il team CTC presenta la porta NGL Dornier 728 infusa
Da sinista a destra: Uwe Lang, Evonik Industries / Carsten Schöppinger, INVENT / Remo Hinz, Ichwan Zuardy, Benjamin Leohold, CTC

according to Evonik, the team is now working on several structural application projects with Airbus, where various grades of Hero (Fig. 5) are currently being evaluated for a range of class A and B applications. Uwe Lang, from the Sandwich Technology, division, commented: "Based on trials so far, we are quite optimistic that the first Airbus aircraft part specified with Hero will enter into service during 2015."

ABOUT THE AUTHOR

Uwe Lang, Evonik Industries AG, High Performance Polymers, is responsible for Rohacell® Sandwich Technology and regional sales management for Germany. After studying Aerospace Engineering, specializing in aircraft, at the Fachhochschule Aachen, he was employed from 1991 – 1999 at AIK in Kassel, Germany, first as a composites development engineer, then as a product manager for composites part.
Since joining Evonik in 2000, he has worked in technical marketing and technology projects, most recently for the Rphacell® Hero product. His career also includes 4 years of experience as a Key Account Manager for Airbus in Stade at CTC.

***Uwe Lang**, Evonik Industries AG, High Performance Polymers, è responsabile per la tecnologia Rohacell® Sandwich e le vendite per la Germania. Dopo aver studiato Ingegneria Aerospaziale, si è specializzato in aeroplani presso la Fachhochschule di Aquisgrana. Ha lavorato dal 1991 - 1999 a AIK a Kassel, in Germania, prima come ingegnere di sviluppo compositi, poi come product manager per parti composito.*
Da quando è entrato a Evonik, nel 2000, ha lavorato in progetti di marketing e tecnologia e più di recente per il Rphacell® Hero. La sua carriera comprende anche 4 anni di esperienza come Key Account Manager per Airbus al CTC di Stade.

Progetti futuri e reengineering

La combinazione di peso significativo, risparmio di tempo e costi complessivi di produzione dimostrata da CTC è possibile con un nucleo in schiuma infuso. Questi aspetti hanno fornito una ragione convincente per una OEM, come Airbus, per prendere in considerazione un nucleo di schiuma per progetti futuri e per investire nel reengineering di alcuni particolari di aeromobili già esistenti, soprattutto quelli con forme geometriche più complesse, curvate e angolate. Il Professor Hermann, Responsabile di CTC, ha commentato i risultati complessivi del progetto dichiarando: "Al fine di eliminare il peso, io sono un convinto sostenitore che la tecnologia a sandwich composito è la strada giusta da seguire per la progettazione degli aeromobili, ove possibile, per la parti di classe A e B. La struttura a nido d'ape è solitamente l'opzione migliore per forme semplici e piane.
Per parti più complesse, un nucleo a schiuma come il Rohacell® Hero è la soluzione tecnica migliore e più sicura in quanto viene eliminata la possibilità di infiltrazioni d'acqua e vengono notevolmente ridotti i rischi di debonding grazie alla maggiore aderenza di una schiuma a celle chiuse con le superfici esterne laminate del sandwich".
A seguito dei risultati della valutazione di questo progetto, secondo Evonik, il team sta ora lavorando su diversi progetti applicativi strutturali con Airbus. Sono attualmente in fase di valutazione diversi gradi di Hero (Fig. 5) per applicazioni in classe A e in classe B. Uwe Lang, Divisione Sandwich Technology, ha commentato: "Sulla base di prove fino ad ora effettuate, siamo abbastanza ottimisti sul fatto che la prima parte di aeromobili Airbus specificati con Hero, entrerà in servizio nel corso dell'anno 2015".