

Rotorcraft access panel from recycled carbon PPS - World's first flying fully recycled thermoplastic composite application in aerospace

Thomas de Bruijn¹, Ferrie van Hattum ThermoPlastic composites Application Centre - TPAC (¹ IPC, University of Minho, Portugal)

To demonstrate a novel recycling route for thermoplastic composites, an integrally-stiffened access panel door for a rotorcraft was selected for detail design, testing and actual flight tested. The design, development and validation followed the traditional 'Building Block approach'. The used material is carbon fibre reinforced PPS from post-industrial waste. The material originates from off-cuts generated in the production of components for the same rotorcraft as the access panel door will be mounted on. This scenario helps to control the traceability of the recycled access panel door/

scrap material. The development of such an application improves the logistics as well as the supply and demand for recycled TPC. Material data was gathered from mechanical tests and used to predict the panel's strength and stiffness.

The stringer design was optimised with regards to part stiffness and internal stress distribution, using FEM simulations. A critical design detail was selected and tested for validation, i.e. flexural tests on bolted joints. This section was included in a preliminary manufacturing demonstrator, along with other integrated

design features, such as thickness transitions and various types of stiffeners. The manufacturing demonstrator enabled testing of the manufacturing limits regarding design and processability. The final panel door design was successfully produced and tested on component level. The proprietary re-manufacturing process includes the following steps: 1. Shredding of waste to centimetre-long flakes; 2. Simultaneous heating and low-shear mixing; 3. Compression moulding in an isothermal mould. This offers the opportunity of retaining long fibres and therefore reaching

high mechanical properties at the characteristic short cycle times of isothermal compression moulding. In comparison to the current carbon/epoxy hand lay-up solution, the new product is lighter, significantly more cost-effective and made of recycled material (fibre and matrix). The recycled thermoplastic access panels have been successfully flight tested.

TPC-CYCLE RECYCLING PROJECT

The innovation is part of the TPC-Cycle recycling project, which started 3.5 years ago. With the growth of applications and

Pannello di accesso agli elicotteri da PPS in carbonio riciclato – Prima applicazione di un composito termoplastico interamente riciclato per il settore aerospaziale

Thomas de Bruijn¹, Ferrie van Hattum ThermoPlastic composites Application Centre - TPAC (¹ IPC, University of Minho, Portogallo)

Per dimostrare un nuovo percorso di riciclaggio dei compositi termoplastici, è stata scelta per progettare i dettagli, una portiera d'accesso integralmente rinforzata per elicottero oltre ai test di materiale e in volo. Il progetto, lo sviluppo e la convalida hanno fatto seguito al tradizionale "Approccio Costruttivo a Blocchi". Il materiale utilizzato è la fibra di carbonio rinforzata PPS dai materiali di scarto post-lavorazione industriale. Il materiale ha origine dai ritagli generati durante la produzione di componenti per lo stesso elicottero non appena la portiera d'accesso viene montata.

Questo scenario contribuisce a controllare la tracciabilità del materiale residuo/portiera del pannello di accesso. Lo sviluppo di questa applicazione migliora la logistica oltre alla fornitura e alla domanda di TPC riciclato. I dati del materiale sono stati ricavati dai test meccanici e utilizzati per prevedere la tenacità e la rigidità del pannello.

Lo sviluppo del travetto è stato ottimizzato considerando la distribuzione delle sollecitazioni interne e la rigidità del componente, con l'ausilio delle simulazioni FEM. Per la convalida, è stato selezionato e

testato un dettaglio critico della progettazione, vale a dire i test flessurali sui giunti bullonati. La sezione è stata inclusa in una dimostrazione di produzione preliminare, insieme ad altre caratteristiche progettuali integrate come spessori e tipologie di rinforzi.

È stato possibile analizzare i limiti riscontrati in quanto a progettazione e lavorabilità.

La progettazione finale del pannello della portiera è stata realizzata con successo per poi essere testata sul componente. Il processo di ricostruzione brevettato ha incluso le seguenti fasi: 1) Trinciatura dei

materiali di scarto in scaglie lunghe centimetri; 2. Riscaldamento istantaneo e miscelazione a basse forze di taglio; 3. Stampaggio per compressione in uno stampo isotermico. Tutto questo offre l'opportunità di conservare le fibre lunghe e quindi di ottenere alte proprietà meccaniche secondo i cicli di lavoro brevi caratteristici dello stampaggio per compressione isotermici. Nel confronto con le attuali soluzioni di stratificazione manuale con carbonio/epossidiche, il nuovo prodotto risulta più leggero, significativamente più economico e realizzato con



production of thermoplastic composites, the amount of generated waste increases and reaches considerable volumes. Although the recycling of thermoplastic composites is theoretically viewed as feasible, it is not observed in practice. The development of recycling solutions specific to thermoplastic composites are crucial because of the high value of this material, and legal and environmental reasons. The project targets production waste by developing a recycling route for high-end and high-volume markets. The objective is to retain the high mechanical properties of thermoplastic composites and reduce the environmental impact at an affordable cost. The project studies the process steps from waste collection to shredding, reprocessing and application. It is developed in collaboration with industrial partners focusing on the total value chain and at

every process step. The recycling solutions features short cycle times, net-shape manufacturing and enables the production of complex shapes. High mechanical properties are obtained by retaining long fibre lengths.

VALUE

The new rotorcraft access panel door is lighter than the original component, its production cost is drastically reduced and the product is more sustainable by applying an energy efficient process and recycled materials. For this field of applications, weight is of critical importance and therefore is a key motivation for using this type of material. The weight reduction does not only come from mechanical properties of the material, but also from the possibility to optimise the geometric stiffening by the use of stringers thanks to the processability of this material. The orientation of

the stringers was chosen to distribute stresses more uniformly over the product resulting in material reduction and therefore weight savings. These solutions allow for a 9% weight reduction compared to the current carbon/epoxy hand lay-up component. An additional benefit is created by the cost reduction on material and process level. Substantial

material optimisation is achieved by reusing reclaimed material, since current waste streams are discarded. Additionally all the steps of the recycling solution maximise cost efficiencies vs using solely virgin material value. Consequently, a major cost reduction is obtained when manufacturing the recycled component over its original counterpart. The



materiale riciclato (fibra e matrice). I pannelli di accesso termoplastici riciclati sono stati testati in volo con successo.

PROGETTAZIONE DEL RICICLAGGIO DEL CICLO TPC

L'innovazione è parte integrante del progetto di riciclaggio del ciclo TPC, iniziato 35 anni fa. Con l'evolversi delle applicazioni e della produzione di compositi termoplastici, la quantità di materiale di scarto generata aumenta raggiungendo volumi considerevoli. Sebbene il riciclaggio dei compositi termoplastici sia considerato teoricamente fattibile, nella realtà non viene realizzato. Lo sviluppo delle soluzioni di riciclaggio, specifiche dei compositi termoplastici sono cruciali per l'elevato valore di questo materiale, e per ragioni legali e ambientali. Il progetto è mirato ai materiali

di scarto della produzione con la messa a punto di un percorso di riciclaggio per i mercati di nicchia e di volumi elevati.

L'obiettivo è quello di conservare le notevoli proprietà meccaniche dei compositi termoplastici e di ridurre l'impatto sull'ambiente a costi abbordabili. Il progetto studia le fasi di processo dalla raccolta dei materiali di scarto fino alla trinciatura, nuovo processamento ed applicazione.

Esso è stato sviluppato in collaborazione con i partners industriali concentrandosi sulla catena di valore globale e in qualsiasi fase di processo.

Le soluzioni di riciclaggio si caratterizzano per cicli di lavoro brevi, produzioni reticolari e permettono di realizzare forme complesse. Le elevate proprietà meccaniche sono ottenibili conservando la lunghezza delle fibre lunghe.

VALORE

Il nuovo pannello per la portiera di accesso all'elicottero è più leggero del componente originale, i suoi costi di produzione sono sensibilmente inferiori e il prodotto è più sostenibile applicando un processo di efficientamento energetico e materiali riciclati. Per questo campo di applicazioni, il peso riveste un'importanza cruciale e rappresenta quindi una motivazione chiave per l'utilizzo di questo tipo di materiale. La riduzione di peso non solo deriva dalle proprietà meccaniche del materiale, ma anche dalla possibilità di ottimizzare la rigidità geometrica con l'uso dei travetti, proprio in virtù della lavorabilità del materiale stesso. L'orientamento dei travetti è stato scelto per distribuire le sollecitazioni in modo più uniforme su tutto il prodotto determinando una riduzione del materiale con evidente

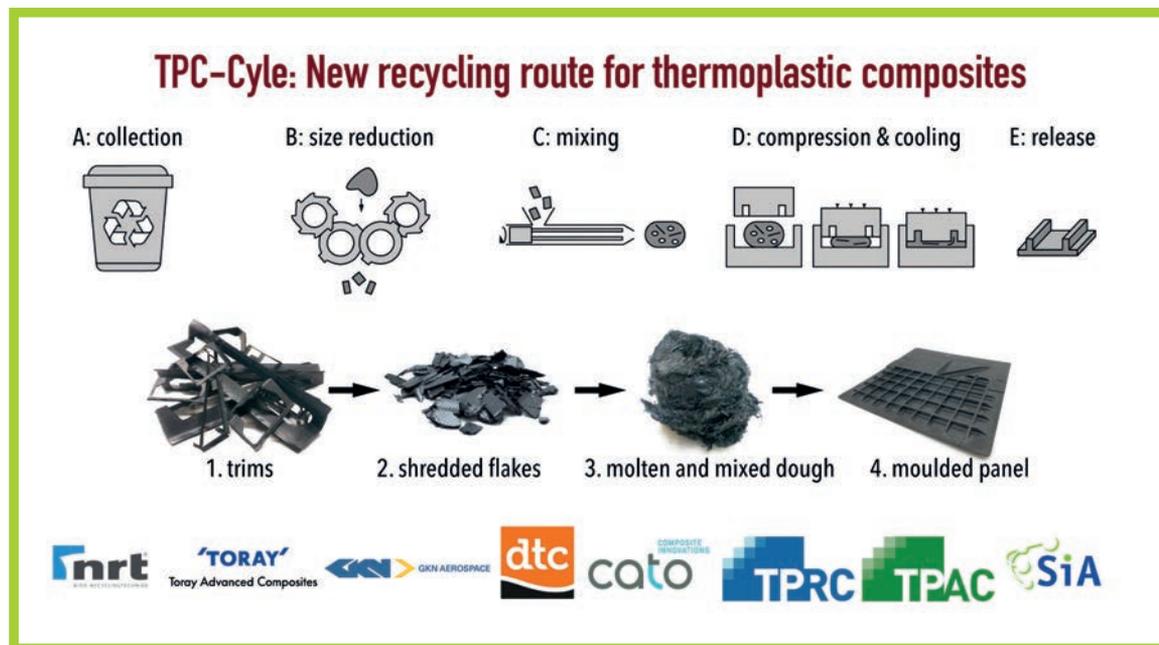
risparmio di peso.

Queste soluzioni consentono una riduzione del peso pari al 9% rispetto agli attuali componenti stratificati manualmente con carbonio/epossidiche. Un ulteriore vantaggio scaturisce dalla riduzione dei costi in quanto a materiali e processo. L'ottimizzazione sostanziale del materiale è possibile riutilizzando materiale rigenerato, dal momento che gli attuali flussi di materiali di scarto vengono eliminati. Inoltre, tutte le fasi delle soluzioni di riciclaggio incrementano al massimo l'efficacia dei costi rispetto all'utilizzo soltanto del materiale vergine. Di conseguenza, si ottiene una superiore riduzione dei costi nella produzione del componente riciclato rispetto alla sua controparte originale. Il percorso di riciclaggio messo a punto offre ulteriori possibilità di risparmio riducendo l'intero ciclo produttivo.

developed recycling route offers further cost reduction by reducing the overall manufacturing cycle time. The process time is significantly shorter compared to the current production by applying an out-of-autoclave process with isothermal mould, fast de-moulding and near net shape manufacturing.

IMPACT

This innovation leads to the common good on various levels. Preliminary results of an ongoing life cycle analysis (LCA) show significant CO₂ reductions regarding the material, the manufacturing and the use phase. The raw material is reclaimed during the manufacturing process and thus saved from disposal; therefore the buy-to-fly ratio is increased significantly. Additionally, since the production of carbon fibre is an energy intensive process, this leads to a major CO₂ and energy reduction. Unlike fibre reclamation processes also the polymer



is recycled, resulting in less waste and no need to clean, apply sizing and re-impregnate the fibres. The recycling route consists of size reduction, mixing and compression moulding. Shredding is an industrial standard in recycling

and has a low energy consumption. During shredding, no dust is observed at emission analysis. At the mixing step, the material is melted effectively. Compression moulding takes place in an isothermal mould, which reduces

energy consumption and cycle time significantly in contrast to (recycling) processes requiring a heating and consolidation cycle. The manufacturing of the current thermoset access panel includes an autoclave step. Removing this

I tempi di processo sono significativamente brevi nel confronto con l'attuale produzione applicando un processo in autoclave con lo stampo isotermico, con l'estrazione dallo stampo veloce e la produzione della forma quasi netta.

IMPATTO

Questa innovazione dà i suoi frutti direttamente ai beni di consumo a vari livelli. I risultati preliminari dell'analisi del ciclo di vita in corso (LCA) hanno dimostrato riduzioni significative di CO₂ per quanto concerne il materiale, la produzione e la fase d'utilizzo.

La materia prima è recuperata durante il processo produttivo e quindi conservata per lo smaltimento; quindi, il rapporto valore d'acquisto/volo aumenta in modo sostanziale.

Oltre a questo, dal momento che la produzione della fibra di carbonio è un processo ad alto consumo energetico, ciò determina ad una superiore riduzione di CO₂ e di energia. Diversamente dai processi di rigenerazione della fibra, anche il polimero viene riciclato, fornendo un quantitativo inferiore di scarti e nessuna esigenza di pulizia, applicazione del mordente e reimpregnazione delle fibre.

Il percorso di riciclaggio prevede una riduzione della dimensione, miscelazione e stampaggio per compressione. La triturazione è uno standard industriale del riciclaggio e prevede consumi energetici contenuti. Durante questa operazione, non si osserva formazione di polvere nell'analisi dell'emissione. Nella fase della miscelazione, il materiale viene poi efficacemente

fuso. Lo stampaggio per compressione ha luogo nello stampo isotermico che riduce i consumi di energia e la durata del ciclo in modo consistente, a differenza dei processi (riciclaggio) che richiedono un ciclo di surriscaldamento e di consolidamento. La produzione dell'attuale pannello di accesso termoindurente contempla una fase di lavoro in autoclave.

L'eliminazione di questa fase permette ulteriori risparmi di energia e di CO₂. Con i compositi termoplastici, i dannosi composti organici volatili (VOC) durante il trattamento risultano trascurabili rispetto ai compositi a base termoindurente. Il risparmio di peso di quasi il 10% da risparmiare sul combustibile in fase di utilizzo. La LCA preliminare mostra che i principali fattori di riduzione di energia

e CO₂ sono rappresentati dal peso limitato, dal materiale riciclato e dallo stampo isotermico durante il processo fuori-autoclave.

Allo stato attuale, è possibile utilizzare varie tipologie di materiale recuperato durante la fase di produzione, ad esempio i prepreg o semipreg ma anche i laminati a spessore consolidato. Le sfide da cogliere nelle applicazioni al termine della vita utile sono al presente oggetto di studio così come le proposte di soluzioni al problema dell'inquinamento da materiali di scarto. In questo modo, i compositi termoplastici chiuderebbero il gap di un'economia circolare.

NUOVI SVILUPPI

L'applicazione e il processo messi a punto mostrano che sono possibili soluzioni simili per prodotti



step results in a major energy and CO₂ reduction. Using thermoplastic composites, the harmful volatile organic compounds (VOCs) during processing are negligible compared to thermoset-based composites. The weight saving of nearly 10% leads to fuel saving in the use phase. The preliminary LCA results show that the main reasons for a significant energy and CO₂ reduction are the lower weight, a recycled material and an isothermal mould during the out-of-autoclave process. Currently, various types of material reclaimed during production can be used, e.g. prepreg or semipreg, but also thick consolidated laminates. Challenges for end-of-life applications are being investigated and solutions for waste pollution are proposed. In this way, thermoplastic composites are closing the gap to a circular economy.

FURTHER DEVELOPMENT

The developed application and

its process show that similar solutions are possible for high-end products. Thanks to the short cycle time, this process is also suitable for markets with larger volumes than aerospace. Currently, several actions are performed to evaluate the production process for serial production. More detailed cost and environmental studies are being performed; quality control and inspection is also examined. At the same time, a feasibility study is executed to see if the applied approach and recycling route can be applied in other aerospace applications, such as (non-structural) fairings, covers & system brackets. The results regarding cost and weight reduction look very promising for several types of parts.

- 1 Recycling both thermoplastic matrix and fibre (i.e. full material)
- 2 Double-digit Cost reduction
- 3 Substantial weight reduction
- 4 Fast out-of-autoclave process: cycle times of minutes
- 5 Net-shape manufacturing of

complex geometries

PARTNERS

The project covers the total value chain, from size reduction to the OEM. Nido Recycling technologie (Nijverdal, The Netherlands) is involved to study the size reduction of the post-industrial waste. Toray Advanced Composites (Nijverdal, The Netherlands) supported with the supply of thermoplastic composite materials and material knowledge. Challenges, solution and knowledge on processing TPC materials is exchanged with Cato Composites (Rheden, The Netherlands) and Dutch Thermoplastic Components (Almere, The Netherlands). The ThermoPlastic composites Application Center (TPAC, Enschede, The Netherlands) is leading the development of the recycle route and manufactured the panel together with the partners. The ThermoPlastic composites Research Center (TPRC, Enschede, The Netherlands) was involved in more fundamental

research related to this recycling route and this composite solution. Researchers and students of Saxion UAS and various other universities are involved to educate and train the next generation of TPC professionals. The project is facilitated with the financial support of Regieorgaan SIA, part of The Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO). GKN Aerospace designed and tested the access panel. In the rotorcraft program, GKN is responsible for the design and manufacture of the V-Tail in which also TPC components have been demonstrated. The access panels were created (i.e. closed-loop re-use) from actual production waste of these thermoplastic empennage components. "The current project underlines the role of applied research involving the total value chain, in driving innovations from first idea to an industrially viable and tested product in record time", says Ferrie van Hattum, TPAC's scientific director.

di nicchia. Grazie alle durate brevi dei cicli di lavoro, questo processo è adatto anche ai mercati con volumi superiori rispetto al settore aerospaziale. Al presente, vengono attuate diverse misure per valutare il processo di produzione per la realizzazione di prodotti in serie. Sono in corso anche studi sull'ambiente e dettagli di costo; il controllo della qualità e le indagini sono in fase di attuazione. Nello stesso tempo, è in corso anche uno studio della fattibilità per verificare se l'approccio scelto e le modalità di riciclaggio possono essere applicate in altri ambiti aerospaziali, come nel caso delle carenature (non strutturali), coperture e fissaggi. I risultati relativi alla riduzione dei costi e del peso sono molto promettenti per diverse tipologie di componenti.

1) Riciclo di matrici e

fibre termoplastiche (materiale integrale)

- 2) Riduzione dei costi a doppie cifre
- 3) Riduzione del peso sostanziale
- 4) Processo veloce fuori-autoclave: cicli di minuti
- 5) Produzione a forma netta di geometrie complesse

PARTNER

Il progetto copre la catena di valore complessiva, dalla riduzione della dimensione a O.E.M. Nido Recycling technologie (Nijverdal, Paesi Bassi) è uno dei partner impegnati nello studio della riduzione delle quantità dei materiali di scarto post-lavorazione industriale. Toray Advanced Composites (Nijverdal, Paesi Bassi), ha offerto il proprio contributo con la fornitura di materiali composti termoplastici e know how del

materiale. Le sfide, la soluzione e la conoscenza del trattamento dei materiali TPC sono state scambiate con Cato Composites (Rheden, Paesi Bassi) e Dutch Thermoplastic Components (Almere, Paesi Bassi). Thermoplastic Composites Application Center (TPAC, Enschede, Paesi Bassi) conduce lo sviluppo dei percorsi di riciclaggio e ha realizzato il pannello con i partner professionali.

ThermoPlastic Composites Research Center (TPRC, Enschede, Paesi Bassi) ha preso parte ad attività di ricerca fondamentali relativamente a questo percorso di riciclaggio e a questa soluzione in composito. Ricercatori e studenti di Saxion UAS e altre università sono impegnati a condurre corsi di formazione per la nuova generazione di professionisti TPC. Il progetto è

patrocinato con il supporto finanziario di Regieorgaan SIA, parte dell'Organizzazione Olandese per la Ricerca Scientifica (NWO). GKN Aerospace ha progettato e testato il pannello di accesso.

Nel programma dell'elicottero GKN è responsabile del progetto e della produzione del V-Tail in cui sono stati presentati anche i componenti TPC.

I pannelli di accesso sono stati creati (ri-uso circuito chiuso) dai materiali di scarto di produzione di questi componenti dell'impennaggio. "Il progetto attuale sottolinea il ruolo della ricerca applicata che coinvolge la catena di valore nel guidare l'innovazione dalla prima idea al prodotto industriale e testato in tempi record", ha affermato Ferrie van Hattum, direttore scientifico di TPAC.