

## Direct 3D-Preforming with Fiber Patch Placement

Felix Michl - CTO, CEVOTEC



Fiber Patch Placement (FPP) is the automated, direct 3D preforming technology that builds up preforms additively with patches. Those patches, cut from a unidirectional carbon fiber tape, are positioned along curved load paths on a preforming mold or any other 3D surface. Basically, this works like creating a paper maché balloon: a 3D tool with a complex geometry is covered with directional fiber pieces like the balloon is covered with scraps of paper.

Technically it is nothing less than a paradigm change: by using a patch laminate of defined fiber pieces instead of endless tape or multiaxial lay-ups, the technology not only extends

automated, direct 3D fiber deposition to complex geometries, but also pushes the

Fig. 1 - Preform of a pressure cap in SAMBA Pro production system



Fig. 1 - Preformato di un tappo a pressione nel sistema di produzione SAMBA Pro

boundary of material efficiency by perfectly aligning the fibers of a patch laminate to load conditions. “Fiber Patch Placement allows us to directly manufacture a preform like an aircraft window funnel or a complex-shaped pressure cap, for example”, explains Felix Michl, CTO of Munich-based Fiber Patch Placement specialist Cevotec.

The exemplary pressure cap is an object that presents several production challenges as it has a biaxially curved concave and convex surface with 90° angles and small radii; in addition, the final component will be exposed to a considerable pressure difference, which requires fibers also placed in circumferential direction to counteract

## Preformatura diretta 3D con posizionamento di patch di fibra

Felix Michl - CTO, CEVOTEC



*Il posizionamento di patch di fibra (FPP) è la tecnologia della preformatura automatizzata, diretta 3D che crea preformati con strisce in base alla tecnica della produzione additiva. Queste patch, ritagliate da un nastro di fibra di carbonio unidirezionale, vengono posizionate lungo le linee di carico curve su uno stampo di preformatura o su qualsiasi altra superficie 3D. Fondamentalmente, si tratta di un processo simile alla realizzazione di un palloncino di cartapesta: un utensile 3D a geometria complessa viene coperto con pezzi di fibra*

*direzionali esattamente come il palloncino o è ricoperto di ritagli di carta.*

*Dal punto di vista tecnico, non è niente di meno di una variazione del paradigma: utilizzando un laminato formato da pezzi di fibra definiti al posto di un nastro di lunghezza illimitata o con lay-up multiassiali, la tecnologia non solo allarga la deposizione della fibra 3D in modo diretto ed automatico su geometrie complesse, ma spinge anche il confine dell'efficienza del materiale allineando perfettamente le fibre di un laminato realizzato con pezzi alle condizioni di carico.*

*“La tecnica del posizionamento delle patch di fibra ci ha consentito di produrre direttamente un preformato come il tubo di aerazione di un finestrino dell'aereo oppure un tappo a pressione di forma complessa, ad esempio”, ha spiegato Felix Michl, CTO di Cevotec, specialista di posizionamento di patch di fibra con sede a Monaco. Il tappo a pressione portato come esempio, è un oggetto che pone diverse sfide come nel caso di una superficie biasiale curva, concava e convessa, con angoli di 90° e raggio di piccole dimensioni; oltre a questo, il componente finale viene esposto ad*



the pressure, like using a belt. Most technologies often fail in processing such complex geometries with the requested fiber architecture, especially from economic aspects. “Common fiber placement technologies like AFP and ATL work with rather bulky laying heads and compression rollers that press the bindered fiber tape onto the mold”, exemplifies Michl. But the approachability with these heads in concave areas is strongly restricted.

And as the roller, being the interacting element between the placement head and the tool surface, can hardly adapt itself to biaxial curved surfaces, complex shapes cannot be laid. Also, the operating speed on complex mold surfaces slows down noticeable because of the complex motion path planning and the complicated robot movements. In addition, the programming effort increases while the productivity decreases. To reverse this relationship and speed up the whole process, engineers and developers concentrated on the main problem, the interacting element between robot and mold. “By ‘outsourcing’ most of the functions that are usually part of the laying head and the roller, and transforming the giant head into a slim and lightweight patch gripper, we achieve a highly economical production, which is supported by a complete digital laminate design and CAM suite tailored for Fiber Patch Placement.”

The production process starts by creating a digital laminate. “Fiber Patch Placement would not work without a dedicated engineering



*una differenza di pressione considerevole che richiede che le fibre vengano posizionate anche in direzione circolare per neutralizzare la pressione stessa, come fosse una cintura. La maggior parte delle tecnologie spesso non riesce a trattare queste geometrie complesse con la struttura della fibra richiesta, specialmente dal punto di vista economico. “Le comuni tecnologie del posizionamento della fibra come AFP e ATL funzionano con teste di deposizione per volumi e con rulli compressori che comprimono il nastro di fibra legato sullo stampo”, ha affermato a titolo esemplificativo Michl. Eppure la lavorabilità con queste testine nelle aree concave è fortemente limitata, e, poiché il rullo, come elemento che interagisce fra la testina di posizionamento e la superficie dell’utensile si adatta difficilmente alle superfici curve biassiali, le forme complesse non possono essere distese. Inoltre, la velocità d’esercizio su superfici di stampi complessi rallenta in modo considerevole a causa del ciclo complesso della linea di movimento e dei movimenti complessi del robot e lo sforzo operativo aumenta con il decrescere della produttività.*

*Per capovolgere questa relazione e velocizzare l’intero processo, ingegneri e addetti allo sviluppo si sono concentrati sul problema principale, l’elemento interagente fra robot e stampo. “Importando” la maggior parte delle funzionalità che sono solitamente parte della testina e rullo, e trasformando la testa gigante in una pinza per patch*



software that exactly calculates position, orientation and overlap of every single patch within a laminate”, explains Michl. The CAD-CAM software Artist Studio therefore combines two essential modules of the digital process chain. Laminate generation module Patch Artist uses a common CAD file to extract the surface data and translate it into load-path-oriented patch positions, thus generating the digital laminate. Motion Artist,

Fig. 2 - ARTIST STUDIO module PATCH ARTIST - MOTION ARTIST processing a pressure cap

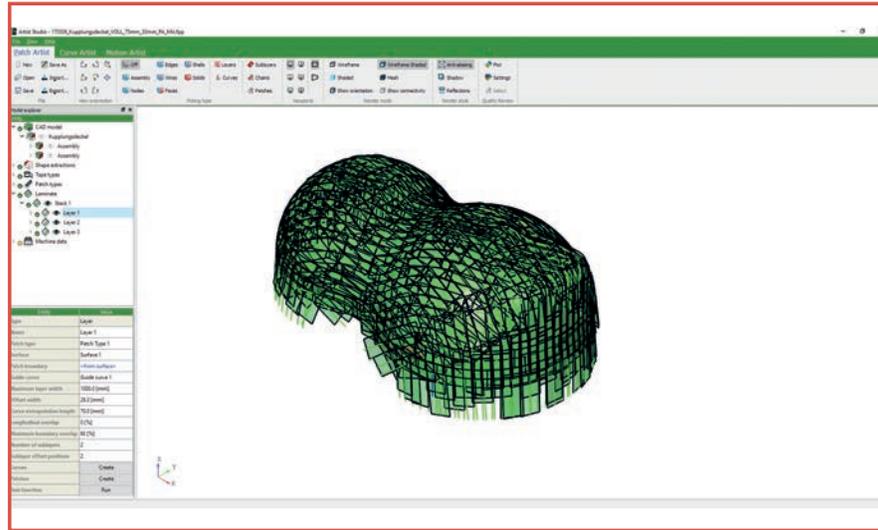


Fig. 2 - Modulo ARTIST STUDIO PATCH ARTIST - MOTION ARTIST per il trattamento di un tappo a pressione

the CAM module, uses the laminate for collision-free offline programming of the two interactive robots of the preforming system SAMBA, which can then perform the physical production of the preform.

"SAMBA works with a four-axis pick-and-place robot and a six-axis tool manipulation robot to precisely place the fiber patches at the calculated positions", describes Michl in detail. The system is fed with a spread tow tape, which the company also offers



di fibra leggera e sottile, si è riusciti a raggiungere alti livelli produttivi, supportati dalla progettazione digitale completa del laminato e lavorazione CAM specifica per il posizionamento delle patch di fibra”.

Il processo produttivo inizia con la creazione di un laminato digitale. “Il posizionamento delle patch di fibra non funzionerebbe senza un software dedicato in grado di calcolare la posizione, l’orientamento e la sovrapposizione di ogni singola pezza di laminato”, ha spiegato Michl. Il software CAD-CAM Artist Studio associa quindi due moduli essenziali della catena del processo digitale.

Il modulo Patch Artist che genera il laminato utilizza un comune file CAD che estrae i dati superficiali trasferendoli sulle posizioni delle patch orientate verso le linee di carico per formare il laminato digitale. Motion Artist, il modulo CAM utilizza il laminato per il ciclo programmato offline anti collisione dei due robot interattivi del sistema di preformatura SAMBA, che può compiere la produzione

fisica del preformato. SAMBA opera con un robot a quattro assi prendi-e-poni e un robot a sei assi per la manipolazione dell’utensile

che serve a posizionare le patch di fibra nelle posizioni calcolate”, ha affermato Michl nei dettagli. Il sistema è alimentato da nastro allungabile con scorrimento a traino, offerto dalla società.

Le patch sono tagliate con il laser mentre due fotocamere industriali ispezionano e documentano continuamente la qualità e il posizionamento di ogni striscia. Un robot prendi-e-poni prende le patch con una pinza modellabile e le pone nello stampo 3D, montato sul robot di manipolazione. “L’elemento chiave di SAMBA è questa pinza adattabile”, ha sottolineato Michl. La costruzione di alluminio, schiuma e silicone, messa a punto da Cevotec, si adatta passivamente alle superfici complesse dei preformati, consentendo l’esatto posizionamento delle patch su geometrie complesse garantendo velocità e flessibilità e riducendo gli sforzi richiesti dal controllo del movimento. Le diverse parti della pinza sono state messe a punto precisamente per soddisfare i requisiti della produzione additiva di un preformato con patch di fibra. In

Fig. 3 - The formadaptive patch gripper



Fig. 3 - Pinza adattabile



to their customers. The patches are cut via laser while two industrial cameras continuously inspect and document the quality and positioning of each patch.

A pick-and-place robot picks the patches with a form-adaptive patch gripper and places them onto the 3D mold mounted on the tool manipulation robot. "Core element of SAMBA is this form-adaptive patch gripper", emphasizes Michl. The aluminum, foam and silicone construction, developed by Cevotec, passively adapts itself to the complex surfaces of the preforms, thus enabling the exact positioning of the patches on complex geometries while ensuring speed and flexibility and reducing motion control effort.

The different parts of the gripper are precisely designed to match the requirements of additively manufacturing a preform with fiber patches.

At the very top, there is the quick-change coupling for the automated exchange of grippers of different size to cover differently-sized areas of a part. The coupling also contains a media delivery for compressed air and electrical power. Below the coupling are aluminum plates. They serve as a carrier for the foam body, but also as distributor of the compressed air and as a vacuum generator. "That is one of the special features of the Cevotec gripper", explains Michl. "With compressed air in the gripper, we produce a vacuum suction stream directly between the aluminum plates. That means, we have a very smart,



*cima si trova un sistema a transizione veloce per lo scambio automatico delle pinze di diverse dimensioni al fine di coprire le varie aree di una parte. Il sistema contiene anche il gruppo per l'aria compressa e l'energia elettrica. Al di sotto del combinato, ci sono le lastre di alluminio. Esse servono da veicolo per l'involucro di schiuma, ma anche come distributore dell'aria compressa e come generatore del vuoto. "Questa è una delle caratteristiche speciali della pinza Cevotec", ha spiegato Michl. "Con l'aria compressa nella pinza, produciamo una corrente di aspirazione del vuoto, direttamente fra le lastre di alluminio. Ciò significa che disponiamo di un sistema di generazione del vuoto integrato e molto intelligente con scorrimenti di alto volume a bassa pressione e con tempi di reazione molto abbreviati. Il tempo impiegato è pari a pochi centesimi di secondo per attivare e disattivare la produzione del vuoto." L'involucro di schiuma è tenuto dalle lastre di alluminio. E' stato sviluppato per trasferire la corrente di aspirazione del vuoto sul fondo della pinza garantendo l'adattabilità della forma attraverso lo spessore e il taglio delle cavità del vuoto. La larghezza, la lunghezza, l'altezza, la schiuma, il modulo e la geometria dei passaggi dell'aria sono le proprietà chiave di ogni pinza.*

*Nel fondo della pinza, è attaccata una membrana elastica e flessibile di silicone, con sistema di riscaldamento grazie ad una resistenza di metallo che riscalda la membrana fino a raggiungere i 150 e i 200 gradi Celsius.*

*Mentre la pinza afferra una pezza, la temperatura attiva il legante di lato sul fondo del materiale del nastro. Una volta attivato, il legante diventa coloso e, di conseguenza, la striscia tagliata si incolla al preformato una volta posizionata. Ciò rende possibile creare un preformato intrinsecamente stabile dalle patch. La membrana riscaldata è stata sviluppata anche per funzionare in modo ottimale con le fotocamere d'ispezione del sistema di produzione.*



integrated vacuum generation with high volume flows at low pressures and extremely short reaction times. It takes only a few hundredths of a second to switch the vacuum generation on and off.”

The foam body is held by the aluminum plates. It is designed to pass the vacuum suction stream to the bottom of the gripper and ensures the form adaptivity through the consistency and cut of the vacuum holes. Width, length, height, foam, modulus and geometry of the air passages are the key properties of each gripper.

At the bottom of the gripper, an elastic and flexible silicone membrane is attached, containing a metal resistance heating which heats the membrane to 150 to 200 degrees Celsius.

While gripping a patch, this temperature activates the binder at the bottom side of the tape material. Thus activated, the binder becomes sticky and therefore the cut patch

sticks to the preform when placed at its position. This ultimately makes it possible to create an inherently stable preform out of patches. The heated membrane is also designed to optimally cooperate with the inspection cameras of the production system. It allows for an optimal detection of the patches on the gripper which is necessary to measure the position of the patches and place them with highest precision at the calculated position.

Currently SAMBA Pro, producing a preform like the pressure cap, processes approximately one patch per second. Thanks to the precisely calculated patch positioning, up to 20% of fiber material can be saved without affecting the mechanical properties of the finished part. On the contrary strength and stiffness will be up to 150% higher than with conventional production processes. „Saving material means saving weight and, particularly in aircraft construction, this means saving fuel, which is directly

translated into saving money”, Michl continues his explanations. “So, I’m sure, also our latest “coup” will arouse great interest: to meet requirements of high-volume production as well as prototyping and R&D, we made SAMBA almost arbitrarily scalable.” While SAMBA Pro as flexible “allrounder” processes 2-3 kg fibers per hour, a SAMBA Scale cell processes up to 15 kg of material per hour. Combined as production lines, a constant throughput of up to 100 kg per hour is reached, even when producing highly complex 3D preforms. SAMBA Step, on the other hand, is perfectly aligned with the requirements of small scale production, prototyping and R&D. A flexible degree of automation allows the adaptation to the needs of developers. “At the moment, all systems process bindered dry carbon and glass fiber”, Michl concludes, “but we are currently testing the processing of prepreg fibers. A development in which particularly the aircraft industry is very interested”.



*Essa permette di rilevare in modo ottimale le patch sulla pinza, in modo*

*da misurare la posizione delle strisce e collocarle con la massima precisione possibile nella posizione prevista.*

*Allo stato attuale, SAMBA Pro, che produce un preformato come il tappo a pressione, processa circa una pezza al secondo, e grazie al posizionamento precisamente calcolato, è possibile risparmiare fino al 20% della fibra senza compromettere le proprietà meccaniche del componente finito.*

*Diversamente, la tenacità e la rigidità saranno superiori del 150% rispetto ai processi produttivi convenzionali. “Ri-*

*sparmiare materiale significa risparmiare peso e, in particolare, nella costruzione degli aeromobili, questo sta per risparmio di combustibile, che a sua volta si traduce*

*direttamente nel risparmio economico,”, ha aggiunto Michl nel suo discorso. “Sono certo*

*realizzato Samba in modo quasi arbitrariamente scalabile. “Mentre SAMBA Pro come*

*sistema flessibile “a tutto tondo” processa 2-3 kg di fibra all’ora, la cella SAMBA Scale processa fino a 15 kg di materiale all’ora. Integrato nelle linee di produzione, si ottengono quantità totali pari a 100 kg all’ora, anche nei casi di produzione di preformati 3D molto complessi.*

*Samba Step, d’altronde, si allinea perfettamente ai requisiti di produzioni di piccola scala, prototipazione ed R&D. Un grado flessibile di automazione consente di soddisfare le esigenze degli addetti allo sviluppo. Al presente, tutti i sistemi processano fibre di vetro e di carbonio essiccate*

*legate, ma stiamo anche analizzando il trattamento delle fibre prepreg, un’attività di sviluppo che interessa in special modo l’industria aeronautica”.*

Fig. 4 - SAMBA Scale production system - SAMBA Scale production line



Fig. 4 - Sistema di produzione SAMBA scale/Linea di produzione Samba Scale

*quindi, che il nostro ultimo “lancio” susciterà un grande interesse: per soddisfare i requisiti di una produzione ad alti volumi così come le attività di prototipazione e di R&D abbiamo*