

Composite 3D Printing: a high strength solution for anything from prototypes to fixtures

Alexander Crease, Markforged

Arow Global is a small, innovative American manufacturer of window systems for the transportation industry, and is making their first foray into continuous fiber composite materials – by 3D printing them. “What we’ve used so far is fiberglass and the carbon fiber. Basically to help make our parts a little more rigid - especially some of our drill jigs,” Joseph Walters, New Product Design Engineer at Arow Global, proudly reported. “We’ll do carbon fiber inlay around the corners, that stiffens the part up to the point that it’s as stiff as aluminum, but it’s also a lot lighter than aluminum”. Every day, Walters and the rest of the Arow team know that they made the right call – 3D printed composite materials can affordably provide the mechanical properties that Arow could previously only obtain with machined metal.

A few months prior, Walters had been faced with a dilemma - to deliver robust, affordable tools and fixtures, as well as to prototype new design concepts for Arow. His best choice was to

outsource parts to a CNC machine shop - using Arow’s own CNC equipment would divert essential production resources. Yet, the cost was still too high and the time too long – parts were hundreds



The Mark Two, a desktop 3D printer designed specifically for engineers, is capable of 3D printing fiber-reinforced plastics with composite materials
Mark Two, la stampante 3D da banco, progettata specificatamente per ingegneri, può stampare in 3D vetroresina con materiali compositi

Stampa 3D dei compositi: una soluzione ad alta resistenza, per ogni componente, dai prototipi ai fissaggi

Alexander Crease, Markforged

Arow Global è una piccola azienda americana innovativa che produce finestrini per l'industria dei trasporti e che sta facendo il suo primo ingresso nel mercato dei materiali compositi in fibra continua, utilizzando la stampa 3D: “Quel che abbiamo utilizzato finora è la vetroresina e la fibra di carbonio, fondamentalmente, per provare a rendere le nostre parti un po' più rigide in particolare i sistemi di foratura”, ha commentato orgogliosamente Joseph Walters, New Product Design Engineer di Arow Global.

“Procediamo con i rinforzi in fibra di carbonio attorno agli spigoli, i quali irrigidiscono la parte fino al punto in cui essa diventa dura come l'alluminio, ma anche molto più leggera dell'alluminio”. Ogni giorno, Walters e il resto del team Arow sanno molto bene di aver fatto la scelta giusta – i materiali compositi stampati in 3D forniscono le proprietà meccaniche che Arow, precedentemente, riusciva ad ottenere soltanto con il metallo trattato. Qualche mese prima Walters aveva affrontato

un enigma, fornire utensili e fissaggi resistenti e affidabili così come realizzare prototipazioni di nuovi progetti tecnologici per Arow. La sua migliore scelta è stata quella di dare dei componenti da lavorare a officine esterne dotate di macchinari CNC, dal momento che l'utilizzo delle attrezzature CNC interne avrebbe distolto preziose risorse produttive essenziali. Nonostante ciò, i costi erano ancora troppo alti e i tempi troppo lunghi, i componenti da lavorare variavano da centinaia a migliaia di dollari e richiedevano



The Mark Two empowers Arow Global to produce high strength prototypes, jigs, and fixtures that can stand up to real world environments
 Mark Two permette ad Arow Global di produrre prototipi, attrezzature e fissaggi di alta resistenza, in grado di adattarsi agli ambienti del mondo reale

to thousands of dollars, and took weeks. “There’s no good way to do prototyping quickly without spending a couple hundred dollars for a four inch tall piece”.

3D printing was an attractive solution for Walters, but had many shortcomings. While conventional 3D printers complement engineering effort, at factories doing routine machine fixturing, ordinary plastic 3D printing is often too weak or fragile. Metal 3D printing, on the other hand, is simply inaccessible - most solutions of this type are nearly a million U.S. dollars. In describing his search for an affordable 3D printer to replace aluminum parts, Walters emphasized “We wanted parts that were useful, so we didn’t want to have a 3D printer that can do only common plastics like PLA and ABS, which are very brittle. ‘Useful’ was one of our requirements”. Arow’s fixtures and prototypes need to be not merely inexpensive, but reliable.

settimane di tempo. “Non esiste una tecnica ideale per realizzare prototipi velocemente senza spendere almeno duecento dollari per un pezzo alto quattro pollici”.

La stampa 3D si è rivelata una soluzione interessante per Walters, pur presentando molti inconvenienti. Mentre le stampanti 3D convenzionali completano lo sforzo dei tecnici, in fabbrica per eseguire fissaggi ordinari di routine la stampa 3D in plastica è spesso troppo poco resistente o fragile. La stampa 3D in metallo, d'altronde, è semplicemente inaccessibile, e le soluzioni di questo tipo valgono quasi un milione di dollari US. Nel descrivere la ricerca di una stampante 3D affidabile per sostituire le parti in alluminio, Walters ha commentato con enfasi: “Avevamo bisogno di parti che fossero utili, quindi non volevamo una stampante 3D che potesse lavorare soltanto la plastica comune come PLA e ABS, molto friabili. “Utile” era l’aggettivo di soltanto uno dei nostri requisiti”. I fissaggi e i prototipi non devono essere soltanto poco costosi, ma anche affidabili.

It's not surprising that Walters initially overlooked composites to fill the role. Although materials like carbon fiber provide incredible benefits, full composites production automation has been available only to first-rank aerospace companies using multi-million dollar robots capable of ATL (Automated Tape Laying) and AFP (Automated Fiber Placement).

Without automation, difficult traditional layup techniques are often beyond the reach of modest

manufacturing businesses needing affordable parts. Continuous fiber composites have been exotic for 50 years – too expensive and too elaborate for everyday use. Until recently, Walters would have considered an automatic carbon fiber printer to be science fiction.

However, the world is changing quickly for composites. For several years, 3D printed parts made of reinforced plastics have been available from 3D printing service bureaus using laser

sintering to melt thermoplastics. However, since 2015, the availability of automatic, on-site composites manufacturing has exploded. New desktop 3D printers marry the tough, non-marring properties of thermoplastic with short chopped fibers - or in some cases continuous strand carbon fiber, Kevlar or glass - to inject high-end aerospace materials into commonplace shop jigs and tools. Users of these new 3D printers are often unfamiliar with composites, and are not



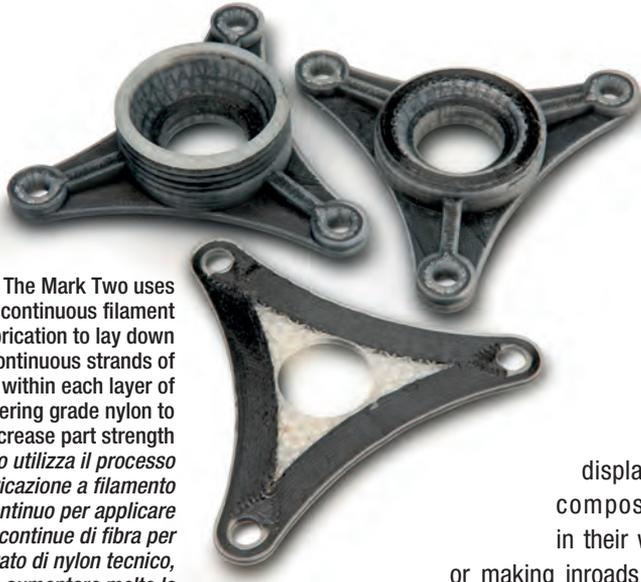
3D printed composite robotic grippers at Dixon Valve, allowing their arms to carry more by reducing gripper weight. The composite 3D printing technique of the Mark Two allows machinists, designers, and engineers to make parts with the strength of CNC machined metals at a fraction of the cost, weight, and time. *Le pinze in composito, stampate in 3D, del robot a Dixon Valve, permettono ai bracci un carico superiore riducendo il peso delle pinze. La tecnica di stampa in 3D in composito di Mark Two permette ai macchinisti, ai progettisti e agli ingegneri di realizzare parti dotate della stessa resistenza dei metalli lavorati con CNC con grande risparmio dei costi, del peso e di tempo*

Non sorprende il fatto che Walters inizialmente non abbia tenuto sufficientemente conto del ruolo dei compositi. Sebbene materiali quali la fibra di carbonio offrano notevoli vantaggi, la totale automazione della produzione dei compositi è disponibile soltanto alle aziende di prima classe che utilizzano robot multimilionari con funzionalità ATL (Automated Tape Laying/Posa automatizzata nastro) e AFP (Automated Fiber Placement/Posa automatizzata fibra). Senza automazione, le difficili tecniche tradizionali di lay-up non sono spesso alla portata di modeste realtà industriali alla ricerca di componenti affidabili. I compositi a fibra continua erano quasi una rarità, troppo costosi e troppo elaborati per un loro uso quotidiano. Fino a poco tempo fa, Walters avrebbe considerato una "science fiction" una stampante automatica per fibra di carbonio. Tuttavia, il mondo dei compositi sta cambiando

velocemente. Da diversi anni, le parti stampate in 3D, realizzate con vetroresina sono disponibili nei laboratori specializzati nella stampa 3D che operano con sinterizzazione al laser per fondere le termoplastiche. E' pur vero che, dal 2015, la disponibilità di processi produttivi di compositi automatici e sul posto di lavoro ha avuto un successo inaspettato. Le nuove stampanti 3D da desktop associano in sé le proprietà di robustezza e di resistenza all'usura delle termoplastiche con fibre corte sminuzzate o, in alcuni casi, strisce continue di fibre di carbonio, kevlar o vetro, per l'iniezione di materiali di nicchia per uso aerospaziale nei comuni strumenti di lavoro e di montaggio delle officine specializzate. Gli utilizzatori di queste nuove stampanti 3D spesso non hanno familiarità con i compositi, non li utilizzano o provano a utilizzarli. Per contro, sono sempre più sfiduciati e non si fidano dei

processi di lavorazione del metallo, in particolare la fresatura CNC dell'alluminio, ma anche la forgiatura, lo stampaggio o la piegatura dei laminati di metallo.

Arow Global infine ha installato una di queste stampanti 3D per compositi. L'impiego di una stampante 3D per compositi da desktop, una Mark Two della società americana Markforged, ha offerto ai loro ingegneri maggiore flessibilità nel lavoro di prototipazione di nuovi progetti negli ambienti di lavoro reali. Anche i macchinisti nel loro luogo di lavoro possono creare le loro attrezzature produttive, polivalenti e parallele al lavoro di produzione. La stampa 3D non richiede CAM, le parti vengono semplicemente stampate, spesso mentre il macchinista svolge un altro lavoro. "Ora possiamo avere una parte che sarebbe costata 400 \$ con due settimane e mezzo di lavorazione e quindi di attesa da uno



The Mark Two uses continuous filament fabrication to lay down continuous strands of fiber within each layer of engineering grade nylon to vastly increase part strength. *Mark Two utilizza il processo di fabbricazione a filamento continuo per applicare strisce continue di fibra per ogni strato di nylon tecnico, così da aumentare molto la resistenza della parte*

displacing composites in their work or making inroads into historical composites areas.

Instead, they are switching away from reliance on metal processes – especially CNC milling of aluminum, as well as forging, molding, or sheet metal bending. Arow Global finally settled on one of these new composite 3D printers. The use of a desktop composite 3D printer – a Mark Two from American company Markforged - has given their engineers more agility in prototyping

dei venditori locali, al contrario, in questo caso, stampiamo durante il weekend e l'area adibita alla produzione è quella che è e basta, per non dire migliore. Ecco quello che usiamo al presente”, ha commentato Walters. Alcune delle strumentazioni di montaggio sono attualmente utilizzate ai massimi livelli nei processi di assemblaggio, con circa 1000 cicli: “Non vediamo segni evidenti di usura su nessuna delle parti di nylon, con l'ulteriore vantaggio che non si notano scalfitture sulle parti in produzione, laddove con l'alluminio potrebbero verificarsi screpolature durante l'estrusione se una parte è più dura dell'altra. Con il nylon, questo problema è stato sradicato”.

“L'ultima volta che ho realizzato un progetto in outsourcing di un sistema di chiusura, avevo a disposizione sei modelli di estrusione prototipi dal costo superiore i 1500 dollari \$”, ha spiegato Walters “Quel che possiamo fare ora con Mark Two è di giostrarci i valori di tolleranza e anche alcune delle caratteristiche per creare un dettaglio come una chiusura a scatto quanto più facile da usare e da montare... mentre prima molta parte di questo lavoro si sarebbe basata sull'intuito o sull'improvvisazione”. Allo stato attuale, grazie alla stampante 3D, l'azienda si può permettere il tempo e il denaro per intraprendere molti più cicli di prototipazione di prima. Walters ha poi aggiunto: “Con la stampante 3D, possiamo eseguire

new concepts in real world environments. Even machinists on their manufacturing floor can make their own manufacturing jigs, multitasking in parallel with production work. 3D printing requires no CAM – the parts are simply printed, often while the machinist is doing other work. “We’re able to take a part that would have costed \$400, with a two and a half week lead time of machining from one of our local vendors - instead we printed it over the weekend, and the manufacturing floor likes it just as much, if not a little better...and they’re using it to this day,” Walters comments. Some of their jigs have now been extensively used in the assembly process, nearing 1000 cycles: “We see no visible signs of wear on any of the nylon parts, and it adds the benefit of not scratching the parts that we’re producing, where with aluminum you can get scratching in the extrusion if one is a little harder than the other. With nylon, that’s basically eliminated”.

“The last time I did a new outsourced latch design I had 6 prototype extrusions costing well over \$1500 dollars,” explained Walters. “What we’re able to do with the Mark Two is really dial in some of the tolerances and also some of the features to make a feature like snap fitting as simple as possible and easy as possible for the

assemblers...before, a lot of that would have been based off of guess work”. Now with their composite 3D printer, they can afford the time and money to go through many more rounds of prototyping than before. Walters continued, “With the 3D printer, we’re now able to do this with three or four revisions in a week whereas before you’d have to cut dies, which takes time and money overall the printer has helped dramatically in terms of reducing wasted material inventory and time”.

With the Mark Two, the prototypes that Walters designed could be easily printed with high strength reinforcement, without the need for a costly and time consuming third party manufacturer. As a result, their composites 3D printer was able to easily pay for itself within 15 jobs.

“I would estimate that we have seen a full return from printing 5 parts each of 3 different plastic injection molded prototype components, specifically from not having to invest in the soft tooling traditionally used to create injection molded parts”, Walters explained. A number of prototypes that otherwise needed to be machined could now be made just as strong for a fraction of the price, proving the Mark Two an

invaluable resource to Arow Global.

Marrying carbon fiber composites to 3D printing is not just about cost savings – in some cases it enables the previously impossible. Now Walters and Arow Global are exploring their new “super power”: “We’re looking at basically rethinking how we can do drill jigs. Now we can do more complicated machining designs that we simply couldn’t do in the past because you physically can’t machine those designs with Markforged, because it’s an additive technique, not subtractive machine, we don’t have to worry about the limitations of CNC milling”.

Arow Global’s composite 3D printer is capable of printing a wide variety of fiber reinforcement patterns, creating both anisotropic and quasi-isotropic ply constructions. As with traditional composite layups, although each individual layer contains a high degree of anisotropy, the addition of multiple layers of composite with rotating orientations results in a part which is quasi-isotropic as a bulk entity.

The printer’s software interface gives users control and optimization of the layout of internal continuous strand composite fibers - users can adjust the fiber layout pattern, customize fiber orientation codes, and select fiber layer

il lavoro con tre o quattro revisioni alla settimana mentre prima avremmo dovuto estrarre stampi, processo laborioso e lungo.... Quindi la stampante ha contribuito enormemente a ridurre l’inventario dei materiali di scarto e i tempi.

Con Mark Two, i prototipi che Walters ha progettato potrebbero essere facilmente stampati con rinforzi ad alta resistenza, senza dover ricorrere a produttori terzi con grande dispendio di tempo e di denaro. Di conseguenza, la stampante 3D per compositi ha ammortizzato le spese dopo 15 lavori. “Posso affermare di aver avuto un ritorno sull’investimento dopo aver stampato 5 parti di 3 differenti componenti prototipi stampati per iniezione, in particolare senza aver dovuto investire negli utensili tradizionali utilizzati per creare parti stampate per iniezione”, ha aggiunto Walters.

Un certo numero di prototipi che altrimenti

avrebbero dovuto essere lavorati potevano ora essere realizzati dotandoli della stessa forza a un prezzo molto inferiore, a dimostrazione del fatto che Mark Two si è rivelata una risorsa di grande valore per Arow Global.

Abbinare i compositi a fibra di carbonio con la stampa 3D non implica soltanto un grande risparmio di denaro, ma in alcuni casi, permette di eseguire opere che prima erano impossibili. Attualmente Walters e Arow Global stanno esplorando il nuovo “super power”: “Stiamo riprogettando i sistemi di foratura. Ormai possiamo creare progetti molto più complessi, impossibili nel passato semplicemente perché non era possibile realizzarli fisicamente... con Markforged, perché si tratta di una tecnica additiva, non sottrattiva, quindi non ci dobbiamo preoccupare dei limiti imposti dalla fresatura CNC”.

La stampante 3D per compositi di Arow Global

può stampare una grande varietà di modelli di rinforzo in fibra, con la creazione di ply anisotrope e quasi-isotrope. Come nel caso dei lay-ups tradizionali in composito, sebbene ogni strato singolo consti di un alto grado di anisotropia, l’aggiunta di strati multipli di composito ad orientamento rotatorio fornisce infine una parte che è quasi isotropa come entità in volume. L’interfaccia del software della stampante dà agli utilizzatori il controllo e l’ottimizzazione del layout delle strisce di fibre continue interne in composito, gli utilizzatori possono regolare il disegno della configurazione della fibra, personalizzare i codici di orientamento della fibra e selezionare il posizionamento dello strato di fibra nel loro modello 3D. Regolando gli orientamenti della fibra e l’iniezione plastica, gli utilizzatori possono emulare la riproduzione dei laminati in fibra tradizionali unidirezionali e quasi isotropi e

placement in their 3D model.

By adjusting fiber orientations and plastic infill, users can emulate traditional unidirectional and quasi-isotropic fiber laminates, and can build dense structures or weight-optimized sandwich panels including automatic honeycombs. Users can also create continuous fiber/plastic structures never before possible, such as concentric loops.

Markforged currently offers the only commercial 3D printer in the world that automatically lays continuous strand fiber – carbon, Kevlar, or glass – into nearly any shape that can be 3D printed or machined.

The printer is also the only commercial 3D printer that combines continuous strand fiber strength and toughness with chopped fiber stiffness, serving worldwide markets. The Mark Two composite printer is a compact desktop printer impeccably designed for ease of use, targeted at engineering and manufacturing professionals, equally in the office or on the shop floor, and in many cases gives a Return on Investment measured in a few months. Any manufacturing or engineering facility that needs strength, toughness, stiffness, environmental resistance or dimensional stability in everyday tools and fixtures can cost-effectively augment, complement, or replace CNC machining or conventional 3D printing jobs with fully automatic composite 3D printing. And that's just the beginning

creare strutture solide o pannelli sandwich con ottimizzazione del peso, compreso il nido d'ape automatico. Gli utilizzatori possono inoltre realizzare strutture fibra/plastica continue, finora impresa impossibile, come le anse concentriche.

Markforged offre attualmente l'unica stampante 3D in commercio che applica automaticamente strisce di fibra continua, carbonio, kevlar o vetro in qualsiasi forma che possa essere stampata o lavorata in 3D.

La stampante è anche l'unica in commercio che associa in sé la resistenza della striscia di fibre continue e la robustezza data dalla rigidità della fibra sminuzzata, per i mercati mondiali. Mark Two per composito è una stampante compatta da desktop, progettata specificatamente per la sua facilità d'uso, destinata a professionisti ingegneri e produttori, utilizzabile sia in ufficio che sul luogo di lavoro e che in molti casi può dare un ritorno effettivo sull'investimento, misurabile in pochi mesi. Qualsiasi struttura produttiva che richieda resistenza, robustezza, rigidità, resistenza agli agenti atmosferici o stabilità dimensionale e fissaggi o attrezzature produttive, potrà effettivamente incrementare, completare o sostituire i macchinari CNC o i servizi di stampa 3D convenzionali con la stampa 3D in composito completamente automatica. E questo è solo l'inizio ...