



M. Levoni Bemposti

Kd-1: the first windform 3D printed driver

Matteo Levoni Bemposti - CRP Technology

To Tiger Woods it's «the game for a lifetime, a combination of physical, metaphysical, and psychological practices», to George Cole's character Arthur Daley it's «like a love affair: If you don't take it seriously, it's no fun; if you do take it seriously, it breaks your heart»: this is golf, a «game of confidence, and most important, concentration: the ability to focus and block out distraction» (Joseph Parent, Zen Golf, Mastering the Mental Game). The aim of this case study is to illustrate the construction of CNC machined and 3D Printed driver clubhead on behalf of Krone, the world leader in custom engineered

golf equipment. Krone ranks among the top international names in the world of high profile golfing. An Italian company, whose expertise encompass the use of additive manufacturing, high-precision CNC machining, non-destructive testing during process phases, CMM dimensional controls to guarantee the total and complete traceability of every part, from the certification of the metal alloy to the certification of final testing: CRP Group, was selected as technical partner.

THE STORY

Titanium and composites materials have been

used in the golf industry for nearly 20 years. However, very little has been done over the years to take full advantage of how they are used to optimize the design or part performance. Most efforts have been to reduce cost and increase output: titanium parts are typically cast, stamped, or forged as well as composites are laid up by hand using “pre-preg” (pre-impregnated) and cured by compression molding or in an autoclave.

Krone was determined to create the world's most advanced high-performance golf equipment. In order to do this, the company CEO Marc



Kd 1: la prima mazza da golf stampata in 3D

Matteo Levoni Bemposti - CRP Technology

Per Tiger Woods si tratta del “gioco di una vita, un insieme di pratiche fisiche, metafisiche e psicologiche” e per il personaggio Arthur Daley di George Cole è come una questione di cuore: se non la prendi sul serio, non è divertente e se la prendi troppo seriamente, ti spezza il cuore”: tutto questo è il golf, un “gioco di fiducia e, ancora di più, di concentrazione: la capacità di concentrarsi e di allontanare ogni forma di distrazione (Joseph Parent, Zen Golf, Dominare il gioco di mente)

La finalità di questo caso studio è illustrare la

costruzione della mazza da golf stampata in 3D e lavorata con CNC per conto di Krone, leader mondiale nel campo delle attrezzature da golf specifiche in base alle esigenze.

L'azienda si classifica fra i nomi internazionali più noti nel mondo del golf di alto profilo. Una società italiana la cui esperienza comprende l'uso della produzione additiva, la lavorazione CNC di alta precisione, test non distruttivi durante le fasi di processo, il controllo dimensionale CMM a garanzia della totale e completa tracciabilità di ogni parte, dalla certificazione

della lega in metallo alla certificazione del test finale: il gruppo CRP è stato selezionato come partner tecnico.

I RETROSCENA

I materiali di titanio e i compositi sono utilizzati nell'industria del golf da quasi 20 anni. Tuttavia, è stato fatto molto poco nel corso degli anni per trarre il massimo vantaggio dalla modalità in cui essi vengono utilizzati per ottimizzare la progettazione o la prestazione della parte. La maggior parte degli sforzi erano volti a ridurre



Titanium Face and Windform SP Body (not assembled) (Courtesy of Krone Golf)

Faccia in titanio e testa in Windform SP (non assemblato) (Foto Krone Golf)

Kronenberg and his staff believed they needed to achieve 2 things:

- a) Break out of the traditional “mass produced” manufacturing techniques and be the pioneers of “mass customization” in the golf industry.
- b) Use the most innovative materials, high tech processes, and partner with industry leaders in manufacturing to develop a golf driver that sets a new standard for quality and performance.

After an extensive research and testing of different additive manufacturing processes such as Direct Metal Laser Sintering of titanium and 3D printing

i costi e incrementare la resa: le parti in titanio vengono tipicamente fuse, stampate o forgiate così come i compositi vengono applicati con l'ausilio dei “pre-preg” (preimpregnati) e reticolati con lo stampaggio per compressione oppure in autoclave.

Krone era determinata a fornire l'attrezzatura da golf di alta prestazione più avanzata al mondo e a tal fine, il CEO della società, Marc Kronenberg e il suo staff erano dell'idea di avere bisogno di due cose:

- a) *Abbandono delle tecniche produttive “di serie” per diventare pionieri della “produzione di serie personalizzata” nell'industria del golf*
- b) *Utilizzo dei materiali più innovativi, processi high tech e cooperazione con i leader industriali per sviluppare golf driver che fissassero un nuovo standard in quanto a qualità e prestazione.*

Dopo aver compiuto una estesa ricerca e test di diversi processi produttivi additivi come la sinterizzazione laser diretta del metallo del titanio e la stampa 3D dei modelli master o cera per la fusione: mentre alcuni risultati sono stati molto promettenti, sono emersi però problemi di accuratezza (tolleranze), di ripetibilità (variazioni parte su parte) e qualità della parte (aspetto superficiale).

Il gruppo italiano è stato scelto per il progetto e per dare le linee guida su come associare l'utilizzo della produzione additiva alla lavorazione



KD-1 Final result (Courtesy of Krone)
 KD-1 Risultato finale (Foto Krone)

of “wax” or master patterns for casting: while some of the results were quite promising there were also quite a few issues with accuracy (tolerances), repeatability (part to part variations), and part quality (surface appearance).

The Italian group was selected for the project to provide guidance on how to combine the use of Additive Manufacturing and High-Precision CNC machining. By partnering with the Italian-based group, Krone was tapped into a network of companies that provide a wide range of

custom solution. Two specific divisions within the Group were placed on the project team: CRP Meccanica and CRP Technology. One coordinated the project between the companies and the design consultants leveraging its High-Precision CNC machining expertise.

The department of 3D Printing and Additive Manufacturing of the other creates end parts and prototypes in short time: it can build extremely complex geometry that cannot be

easily tooled or it is impossible to tool thanks to the reinforced performing laser sintering powders for Additive Manufacturing named Windform materials. Their mechanical properties make them a layer above 3D Printing, leading from rapid prototyping to rapid manufacturing.

EVALUATION CRITERIA

There are a lot of metrics used to evaluate golf club performance: most commonly “distance” and “launch conditions” like loft, spin, and ball

speed that are easily measured and quantified. There are also more nuanced ones like “sound” and “feel” that are more of a personal preference take time to fine tune.

Performance is critical as well. Golfers will simply not use a product that does not perform up to their expectations.

That’s the reason why golf club design and development is quite similar to high performance automobiles in that acceleration and top speed are easy to measure, but getting the balance, handling, and exhaust note just right require a blend of art and science.

EFFORTS INVOLVED IN THE COMPONENTS

The engineering behind a great golf driver involves optimizing thickness of each surface, controlling total weight of the head, and tuning the center of gravity of the assembly. It’s a balancing act to get everything right.

The USGA and R&A (Rules Committee for Professional Golf) have placed limitations on the maximum size and volume that a golf driver can be - so engineers are constrained to design within a certain “box”. This has held back innovation and lead to the major golf club manufactures to design product that is all very

di precisione CNC. Cooperando con il gruppo italiano, Krone si è trovata all'interno di una rete di società che forniscono una ampia serie di soluzioni personalizzate. Sono state scelte per il progetto due divisioni specifiche facenti parte del gruppo, CRP Meccanica e CRP Technology. Una aveva il compito di coordinare il progetto fra le società e i consulenti del progetto, facendo leva sull'esperienza nella lavorazione CNC di alta precisione. Il dipartimento di Stampa 3D e Produzione additiva dell'altra divisione crea parti finali e prototipi in tempi brevi: può costruire geometrie estremamente complesse che non possono essere facilmente o non possono essere lavorate del tutto grazie alle polveri di sinterizzazione laser a prestazione avanzata, per la produzione additiva, denominate materiali Windform.

Le loro proprietà meccaniche le rendono superiori alla stampa 3D, passando dalla prototipazione

rapida alla produzione rapida.

CRITERI DI VALUTAZIONE

Esistono molti parametri per valutare la prestazione delle mazze da golf: generalmente sono la distanza e le condizioni di lancio, come loft, spin e la velocità della palla che sono facilmente misurabili e quantificati. Esistono anche altre sfumature come lo stile e l'effetto al tatto che sono più di una semplice preferenza personale, i cui adeguamenti richiedono tempo.

La prestazione è anch'essa critica e i giocatori di golf semplicemente non utilizzano un prodotto che non risponda alle loro aspettative in quanto a prestazioni.

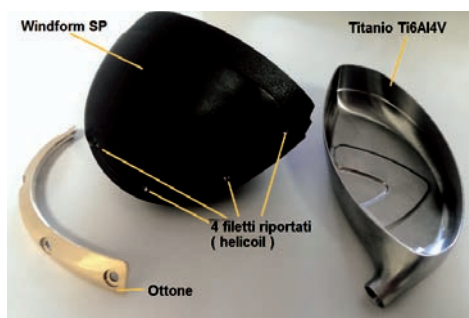
Questo è il motivo per cui lo sviluppo della mazza da golf è simile a quello delle automobili di alta prestazione perché se l'accelerazione e la velocità massima sono facili da misurare,

il bilanciamento, la manipolabilità e i consumi richiedono arte e scienza.

GLI SFORZI COMPIUTI PER LA REALIZZAZIONE DEI COMPONENTI

Le tecniche ingegneristiche alla base di un grande golf driver includono l'ottimizzazione dello spessore di ogni superficie, il controllo del peso totale della testa e l'adeguamento del centro di gravità di tutto l'assemblaggio. E' il bilanciamento che fa sì che tutto vada come dovuto.

USGA e R&A (Comitato normatore per il golf professionale) ha posto dei limiti sulla dimensione e volume massimi di un golf driver, quindi gli ingegneri sono obbligati a progettare rispettando certi canoni. Tutto questo ha trattenuto la spinta all'innovazione e ha indotto i produttori di mazze da golf a sviluppare prodotti molto simili fra loro. “Vediamo – ha commentato Kronenberg



KD-1 preassembled, pre-painted. KD-1 assembled, pre-painted
 KD-1 preassemblato - preverniciato. KD-1 assemblato – preverniciato

similar to one another. «We see – commented Mr.Kronenberg - the opportunity to do something revolutionary in the golf industry and design a superior product through the use of intelligent design, innovative materials, and high tech manufacturing methods».

CONSTRAINTS OF PAST TECHNOLOGIES

Past technologies require machine tooling that limits the geometry that can be produced

- a) Labor intensive
- b) Past technologies are not suitable for small runs or customized parts
- c) Casting and Forging have wide tolerances,

part-to-part variations, and require secondary operations

Besides titanium cannot be cast or stamped any thinner, due to the need to post-weld parts together.

Welding creates a heat effected zone and can cause deformation in thin areas.

Carbon fibre parts cannot become any stiffer without switching to expensive high modulus fibres.

High-performing CNC machining and Additive Manufacturing solve all of these issues: CNC machining allows to control tightly the thicknesses in critical areas. Additive

manufacturing allows to create very stiff lightweight structures and 3D lattice geometries that were never before possible.

«In our working experience with CRP so far – stated Mr.Kronenberg, we have not had any of mentioned issues. The part quality, consistency, and accuracy from both their CNC Machining and 3D Printing Departments has been outstanding».

KD-1: windform SP 3D printed driver clubhead with precision machined titanium hitting surface

The collaboration led to the creation of KD-1. It is a composite driver clubhead where the different



KD-1 Final result (Courtesy of Krome)
 KD-1 Risultato finale (Foto Krome)

- l'opportunità di fare qualcosa di rivoluzionario nell'industria del golf e di progettare un prodotto di qualità superiore grazie all'uso di un design intelligente, di materiali innovativi e di tecniche di produzione high tech”.

LE LIMITAZIONI IMPOSTE DALLE TECNOLOGIE DEL PASSATO

Le tecnologie del passato richiedevano lavorazioni che ponevano delle limitazioni alla geometria da produrre:

- a) Lavoro intensivo
- b) Le tecnologie del passato non si addicono a cicli di lavoro brevi o a parti personalizzate
- c) La fusione e la forgiatura hanno ampie tolleranze, variazioni parte su parte e richiedono operazioni secondarie

Inoltre, il titanio non può essere fuso o stampato con spessore molto basso a causa della

necessità di saldare in un secondo momento tutte le parti. La saldatura crea un'area molto soggetta al calore e si possono determinare deformazioni nelle aree a spessore molto basso. Le parti in fibra di carbonio non possono diventare molto robuste senza utilizzare dispendiose fibre ad alto modulo.

Le lavorazioni CNC di alta prestazione e l'additive manufacturing hanno risolto tutti questi problemi: le prime permettono di controllare accuratamente gli spessori in aree critiche. La seconda permette di creare strutture di basso peso molto robuste e geometrie a reticolo tridimensionale, come mai prima d'ora.

“Nella nostra esperienza lavorativa con CRP, ha affermato Kronenberg, finora non abbiamo incontrato problemi di questo tipo. La qualità della parte, la consistenza e la precisione dei dipartimenti dedicati alla lavorazione CNC e di

stampa 3D sono sorprendenti.

KD-1: MAZZA WINDFORM SP STAMPATA IN 3D CON SUPERFICIE BATTENTE AL TITANIO LAVORATA CON PRECISIONE

La collaborazione ha prodotto KD-1. E' un driver clubhead dove i diversi materiali hanno una funzione specifica e strutturale.

La struttura di KD-1 è stata costruita dal dipartimento 3D Printing di CRP Technology e Additive Manufacturing utilizzando la sinterizzazione laser e l'innovativo materiale Windform SP Additive Manufacturing. Si tratta di un materiale molto duttile dotato di massima resistenza meccanica. E' utilizzato nei casi in cui sia presente un'alta sollecitazione a fatica anche nei momenti di vibrazione o di forte impatto senza il rischio che si rompa. L'elasticità contribuisce ad assorbire queste sollecitazioni meccaniche.

materials have a specific function and structural competence.

The KD-1 body structure has been manufactured by CRP Technology's 3D Printing and Additive Manufacturing department utilizing Laser Sintering and the innovative Windform SP Additive Manufacturing material.

Windform SP is a highly ductile material with top mechanical resistance. It is used where there is high stress fatigue even in time as type vibration or shock without the risk of breaking. The elasticity helps to absorb these mechanical stress. The body has 4 Helicoil® M4 inserts at the end to fasten the weight.

The KD-1 face (the striking surface of the head of the club) is made in Ti6Al4V: it has been entirely/fully CNC machined from solid and sand blasted -external only- the hosel is made in titanium as well. The weight is made in brass entirely CNC machined from solid and sand blasted

Ti6Al4V TITANIUM ALLOY

A lightweight but durable material was selected for this type of product, namely Ti6Al4V titanium alloy.

The Titanium alloy used also satisfies the need to have parts that comply with weight and size

constraints.

The shape of KD-1 face part has made it vital to use cutting edge precision engineering machinery: Krone recognized the superior level of technological expertise at CRP Meccanica, the direct result of its origins in the world of motorsport, an extremely demanding field that expects a level of reliability and precision out of the ordinary. This is why the work becomes fundamental for any application involving a certain degree of criticality: taking into account the properties of titanium and its applications in different fields, from motorsport to aerospace, from naval to industrial sectors, CRP Meccanica is able to CNC machining Titanium alloys from solid and it has been the first to process these alloys through Rapid Casting.

Advantages obtained with high-precision CNC and additive manufacturing technologies with Windform material:

- a) speed
- b) precision
- c) design flexibility
- d) part optimization.

The most interesting features about parts realized in Windform SP and High-Precision

CNC machining is that the process is very lean and direct: once the CAD file is verified, the process just requires a bit of programming and set-up, before the parts are directly made on High-Precision equipment (CNC and SLS) that can virtually run 24 hours a day. The finished parts are high quality and match the original CAD file exactly.

The combination of 3D printing and CNC machining leads to speed up the manufacturing process of the parts and save time. The additive manufacturing technology is much faster than designing and producing a tool for injection molding. Furthermore, 3D Printing can give engineers more flexibility in the timeline to make design improvements.

"We plan – Kronenberg added - to continue to work closely with CRP to refine the design so that it can take full advantage of their CNC and Additive Manufacturing processes and bring the concept of "mass customization" for individually made golf components to market by the end of this year.

The fit between the CNC machined parts and the Windform is exactly as designed. I can say from the design point of view that the use of Windform SP and titanium has allowed me to

La struttura ha 4 inserti Helicoil® M4 nella parte terminale per fissare il peso. Il lato di KD-1 (la superficie che colpisce della mazza è realizzata con Ti6Al4V ed è stata lavorata interamente con CNC da solido e con sabbiatura (esternamente) e il flessibile è anch'esso di titanio.

Il peso è dato dal bronzo, lavorato interamente con CNC da un solido e sabbiato

LEGA DI TITANIO Ti6Al4V

E' stato scelto un materiale leggero ma durevole nel tempo per questo tipo di prodotto, vale a dire la lega di titanio Ti6Al4V. La lega di titanio utilizzata soddisfa inoltre il requisito di parti conformi alle limitazioni di peso e dimensioni. La forma della faccia KD-1 ha reso indispensabile utilizzare macchinari di alta precisione e Krone ha trovato un grado molto alto di esperienza tecnologica nel partner italiano, il chiaro risultato delle sue

origini nel mondo del motociclismo, un settore molto esigente che richiede un grado di affidabilità e di precisione fuori dall'ordinario. Questo è il motivo per cui è diventato essenziale per qualsiasi applicazione includere un certo grado di perfezionismo: prendendo in considerazione le proprietà del titanio e le sue applicazioni in vari campi, dal motociclismo al settore aerospaziale, dal navale all'industriale, CRP Meccanica può lavorare le leghe di titanio da un solido ed è stata la prima azienda a trattare queste leghe con la tecnica della fusione rapida.

Vantaggi ottenuti dalla lavorazione CNC di alta precisione e dalle tecnologie di produzione additiva con Windform:

- 1) velocità
- 2) precisione
- 3) flessibilità nella progettazione

4) ottimizzazione della parte

Le caratteristiche più interessanti delle parti realizzate con la lavorazione Windform SP e CNC di alta precisione sono il processo molto lineare e diretto: una volta verificato il file CAD, il processo richiede soltanto un bit di programmazione e impostazione prima che le parti siano realizzate direttamente con le attrezzature di alta precisione (CNC e SLS), il che può essere realizzato virtualmente 24 ore su 24. Le parti finite sono di alta qualità e corrispondono esattamente al file CAD originale. La combinazione della stampa 3D con la lavorazione CNC accelera il processo produttivo delle parti con notevole risparmio di tempo. La tecnologia della produzione additiva è molto più veloce della progettazione e produzione di un dispositivo per lo stampo ad iniezione. Inoltre, la stampa 3D può offrire agli ingegneri una superiore flessibilità nel tempo per

really push the limits for the "performance" of the golf club. The KD-1-5 design is going to be really special. Although it looks rather ordinary, it's performance level, as predicted in computer simulations, is unlike any other golf club available today".

about the authors

MATTEO LEVONI BEMPOSTI,

Engineer Specialized in Additive Manufacturing and Windform Materials is the Head of the Reverse Engineering Department at CRP Technology in Modena. He attends international conferences as speaker on the use of the Additive Manufacturing in different field as aerospace, motorsport, aviation, automotive, marine and UAVs . In his career Matteo Levoni has designed engines for a major automotive manufacturer. He graduated in Mechanical Engineering at the University of Modena and Reggio Emilia.

MATTEO LEVONI BEMPOSTI,

Ingegnere specializzato in Additive Manufacturing e materiali Windform è il responsabile del reparto di Reverse Engineering presso CRP Technology di Modena. Ha partecipato e partecipa per conto di CRP Technology a conferenze internazionali sull'utilizzo della fabbricazione additiva in ambito aerospazio, motorsport, avio, automotive, navale e UAV. Nella sua carriera lavorativa Matteo Levoni si è anche dedicato alla progettazione di motori per un'importante casa automobilistica. E' laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Modena e Reggio Emilia.

la realizzazione di migliorie del progetto. "Abbiamo previsto – ha affermato Kronenberg – di continuare a lavorare in stretta collaborazione con i nostri partner per ridefinire il progetto e in modo da trarre massimo beneficio dai processi CNC e di produzione additiva e promuovere la produzione di serie personalizzata per componenti singoli delle attrezzature da golf, la cui commercializzazione è prevista entro la fine di quest'anno. L'adeguamento fra le parti lavorate a CNC e Windform è esattamente come è stata progettata. Posso dire dal punto di vista progettuale che l'impiego di Windform SP e del titanio mi ha consentito di spingere oltre i limiti della "prestazione" della mazza da golf. Il progetto KD-1-5 risulterà veramente speciale. Pur sembrando piuttosto comune, il suo livello prestazionale, come preannunciato dalle simulazioni al computer è diverso da quello di qualsiasi mazza da golf attualmente disponibile sul mercato".