

Avviso indagine di mercato per l'acquisto di un "Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni"**- Relazione tecnica**

Nell'ambito del laboratorio interdipartimentale IAM@POLITO Center (Integrated Additive Manufacturing @ POLItecnico di Torino) si vogliono sviluppare nuovi materiali metallici e ceramici e nuovi prodotti additivi con prestazioni ottimizzate. Presso tale centro è già presente una macchina del tipo Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni: si tratta dell'EBM A2X di GE ADDITIVE (nel seguito A2X) e per una serie di ragioni sommariamente illustrate nel seguito, si rende necessario l'acquisto di una seconda attrezzatura del tipo additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni.

L'A2X presenta una camera di lavoro di grosse dimensioni che richiede di caricare all'interno grandi quantità di polvere. Il costo delle polveri è notevole e, soprattutto, trattandosi di lavori di ricerca, spesso si rende necessario testare piccoli lotti di composizione chimiche diverse, al fine di migliorare le caratteristiche del componente finale prodotto. Risulta estremamente dispendioso dover acquistare più di 50Kg di polvere, di più composizioni chimiche, per ogni test preliminare. Inoltre, nel centro interdipartimentale IAM@POLITO è stato acquisito un atomizzatore per produrre in autonomia piccoli volumi di polveri di composizioni chimiche ad hoc per sviluppare nuove leghe.

Per le ragioni sopra espresse riteniamo fondamentale per l'efficienza delle attività dotarci di una macchina di piccole dimensioni per iniziare ad ottimizzare i parametri di processo su piccoli lotti di polveri, per poi passare, solo sui materiali che superano questa prima fase, alla fase di ottimizzazione della produzione di prototipi di componenti o grosse quantità di provini per fare delle caratterizzazioni del materiale complete, attraverso l'utilizzo della macchina grande (A2X), già in nostro possesso.

Inoltre, il gruppo di ricerca ha messo a punto un brevetto per la produzione di materiali ceramici di tipo non ossidico (ad esempio Carburo di Silicio, SiC) partendo da una miscela di polveri precursori del ceramico desiderato.

Tale miscela di polveri è costituita da una polvere metallica (ad esempio polvere di Silicio) più una polvere non metallica (ad esempio polvere di Carbonio) che, dopo preventivo mescolamento, devono essere inserite in una macchina di additive manufacturing che lavori in vuoto per essere selettivamente fuse dalla fonte energetica della macchina.

La polvere metallica fonde, innescando una reazione con la polvere non metallica che permette di realizzare il materiale ceramico solo dove la sezione del disegno CAD del componente fa passare la sorgente di energia. Con l'attuale macchina A2X, presente nel centro IAM, non si è potuto ancora procedere con la ricerca sperimentale per provare l'efficacia del brevetto perché la miscela di polveri Si+C non ha dimostrato la sufficiente scorrevolezza per essere stesa sul piano di lavoro ed essere successivamente colpita dalla sorgente di energia. L'A2X, infatti, sfrutta l'autonoma scorrevolezza per gravità delle polveri inserite e purtroppo la polvere non metallica non si trova in commercio con particelle sufficientemente sferiche da garantire l'autonoma scorrevolezza della miscela risultante.

Preso atto che è stata immessa sul mercato un sistema additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni in grado di avere un sistema di distribuzione della polvere con una lama di distribuzione che

vada a prendere la polvere dalla tanica di riserva, evitando di dover sfruttare la scorrevolezza per gravità delle polveri, il centro di ricerca ritiene fondamentale attrezzarsi con questa nuova tecnologia.

Un altro aspetto che ha fortemente limitato l'attività sperimentale, volta a provare l'efficacia del brevetto sopra menzionato, è il fatto che, quand'anche si fosse riusciti a stendere in modo efficiente uno strato di miscela di polveri sul piano di lavoro, come prima cosa si deve procedere al preriscaldamento della polvere stesa per sinterizzare la polvere in modo da avere polvere sufficientemente consolidata che, quando riceve il fascio di elettroni ad alta energia per la fusione selettiva, non comporti proiezione di particelle di polvere detta "smoke".

Avere "smoke" significa che particelle di polvere saltano via dal letto di polvere, lasciando un letto di polvere difettoso con difetti nel componente finale prodotto.

Nella macchina A2X la sinterizzazione viene fatta sfruttando lo stesso fascio di elettroni che passa sulla polvere stesa con una bassa energia. Tale operazione funziona bene su polveri metalliche, ma non su una miscela di polveri metalliche e ceramiche perché la parte ceramica ha una bassa conducibilità elettrica e dà origine ad un importante fenomeno di "smoke". La nuova macchina in commercio è invece dotata anche di un sistema indiretto di preriscaldamento del letto di polvere descritto tra le successive specifiche tecniche.

Considerato quanto sopra esposto, vi è l'esigenza per l'Ateneo di acquisire un Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni avente i requisiti tecnici descritti di seguito:

- 1) L'attrezzatura richiesta deve garantire di poter usare **polveri metalliche o miscela di polveri metalliche e non metalliche** come materiale di partenza per la costruzione dei provini. Tali provini devono essere realizzati apportando le polveri **strato per strato**.
- 2) L'attrezzatura deve essere della tipologia **a letto di polvere** che si differenzia dalla categoria "a polvere spruzzata" perché solo in questo modo si può avere l'elevato ed uniforme preriscaldamento (descritto ai successivi punti 4 e 5) che garantisce di minimizzare gli shock termici che impedirebbero la possibilità di realizzare provini/componenti in materiale ceramico o in materiale metallico poco duttile.
- 3) È richiesta **un'alta densità di potenza** per portare a fusione anche materiali altofondenti. Di conseguenza si richiede che l'attrezzatura **sia ben isolata termicamente e resistente alle distorsioni**. La massima potenza deve essere ≥ 6 kW e il voltaggio di accelerazione deve essere 60kV. Gli scudi termici che garantiscono l'isolamento termico devono essere piastre di acciaio inossidabile avvolte in fogli lucidi di alluminio / acciaio inossidabile. I fogli di alluminio hanno un'eccellente riflessione termica, un po' meno i fogli in acciaio inossidabile, ma possono sopportare temperature più elevate. Quindi starà alla discrezione dell'operatore scegliere il foglio ottimale. L'utilizzo dei suddetti fogli garantisce che possano essere facilmente sostituiti all'occorrenza permettendo così la protezione degli scudi termici stessi.
- 4) È richiesta **un'elevata velocità di movimentazione della sorgente energetica** (anche superiore a 2000 m/s) che determina la fusione selettiva della polvere per poter generare il preriscaldamento descritto al punto 5 e garantire l'omogeneità di temperatura all'interno della camera fondamentale per prevenire distorsioni o insorgere di cricche nei provini/componenti che si stanno producendo.
- 5) L'attrezzatura deve poter operare un **preriscaldamento di almeno 1200 °C** e garantire l'uniformità della temperatura della polvere ad ogni strato di polvere deposta. Tale preriscaldamento non deve pertanto essere effettuato riscaldando da sotto la piattaforma di lavoro su cui cresce l'oggetto tramite delle resistenze, ma deve essere eseguito ad ogni strato di polvere stesa. Solo in questo modo si riesce a garantire l'alta temperatura di preriscaldamento per tutta la durata della crescita (quando il preriscaldamento è fatto agendo sulla piattaforma di crescita, man mano che essa si abbassa si allontana dai nuovi strati depositati e pertanto il preriscaldamento progressivamente diminuisce e

risulta diverso tra i primi strati depositati e gli ultimi). Ci si ricollega anche alla richiesta del buon isolamento termico richiesto al punto 3.

- 6) Per soddisfare i punti precedenti tale attrezzatura deve utilizzare un **fascio di elettroni** e non una sorgente laser per generare il preriscaldamento e la fusione selettiva della polvere.
- 7) Deve anche essere possibile il **metodo indiretto di preriscaldamento** di ogni singolo strato di polvere: ci deve essere anche la possibilità di inserire una piattaforma resistente al calore al di sopra dello strato polvere appena distribuito il modo che sia lei ad essere preriscaldata in modo diretto da parte del fascio defocalizzato e poi sia la piattaforma a preriscaldare per irraggiamento lo strato di polvere portandolo a parziale sinterizzazione. In questo modo ci sarà la possibilità di evitare problemi di “smoke” durante la delicata fase di preriscaldamento e sinterizzazione della polvere prima della vera e propria fusione.
- 8) La **dimensione del fascio focalizzato** deve essere $\leq 300 \mu\text{m}$ per garantire una buona accuratezza dei provini/componenti prodotti.
- 9) L’attrezzatura deve consentire all’operatore di **decidere il percorso di movimentazione del fascio** durante la fase di fusione selettiva delle polveri di partenza perché l’ottimizzazione del percorso fa parte dei parametri che se ottimizzati possono garantire migliori performance dei provini/componenti realizzati. Ad esempio controllando il percorso del fascio si può controllare la crescita dei grani cristallini del materiale.
- 10) L’**angolo di deflessione** del fascio per coprire l’intera area di lavoro deve essere $< 15^\circ$. Solo un basso angolo di deflessione garantisce di avere sulla piattaforma di lavoro delle contenute variazioni della dimensione del fascio.
- 11) L’attrezzatura deve lavorare **in vuoto** (poter arrivare fino a 10^{-6} mbar). Ciò garantisce di evitare il più possibile contaminazioni durante la crescita dei provini/componenti. Con la possibilità di iniziare a raggiungere già un vuoto di 10^{-4} mbar in meno di 15 minuti per garantire efficienza produttiva e ridurre i tempi di attesa all’avvio della macchina.
- 12) Il **volume della zona di produzione deve essere molto ridotta** (diametro massimo 100 mm e altezza massima 100 mm) così da poter ridurre il quantitativo di polvere necessaria. Questo è fondamentale per ottimizzare la composizione chimica delle polveri di partenza al fine di ottimizzare le prestazioni dei provini/componenti finali. Le piastre di costruzione standard devono essere realizzate in acciaio inossidabile. Tuttavia, poiché la geometria della piastra di costruzione è un semplice disco pieno, deve esserci la libertà per l’utente di cambiarla con una varietà di materiali di nostra scelta al fine di aumentare una buona interazione con i nuovi materiali sviluppati.
- 13) La **tanica di riserva della polvere** e il **sistema di distribuzione della polvere** dalla tanica di riserva alla camera di lavoro devono essere separati e protetti dalla camera di lavoro da un diaframma in modo che la polvere in attesa di essere distribuita non risenta dell’alta temperatura della camera di lavoro e non si contaminino con “schizzi” provenienti dalla camera di lavoro e su in cui lavori una pompa a vuoto dedicata in modo che sia portata via l’umidità dalle polveri prima che il sistema di distribuzione la porti nella zona di lavoro.
- 14) Il **sistema di distribuzione delle polveri non deve sfruttare il fatto che le polveri fluiscano per gravità** ma deve essere dotato di una lama di distribuzione che preleva della polvere dalla tanica di riserva della polvere. Sfruttare la gravità delle polveri per la loro distribuzione è limitante perché impone che si debbano utilizzare solo polveri sferiche e sufficientemente grossolane. La polvere non metallica citate nella parte preliminare di questa descrizione ad esempio non è risultata avere sufficiente scorrevolezza autonoma per gravità
- 15) **Possibilità di lavorare anche con polveri di dimensioni minime anche inferiori a $45 \mu\text{m}$.** Particelle di polveri di piccole dimensioni limitano la scorrevolezza ma al giorno d’oggi c’è una buona parte della ricerca sui nuovi materiali che mira a rinforzare i materiali metallici con rinforzanti micro-nanometrici.
- 16) L’attrezzatura deve essere dotata di un **detector BSE per poter fare delle immagini di ogni layer del componente** in costruzione utilizzando elettroni “backscattered”. Le immagini devono dare informazioni sia di tipo topografico che di tipo composizionale in modo simile a quello che si fa con

un microscopio elettronico a scansione. La risoluzione nominale deve essere simile alla dimensione dello spot del fascio. Questa possibilità consente di controllare strato per strato la produzione dei provini/componenti permettendo di controllare che non ci siano state problematiche in uno strato che possono determinare l'insorgere di un difetto nel provino/componente e risulta essere più affidabile poiché è molto meno sensibile alla metallizzazione rispetto all'imaging ottico attraverso una porta di osservazione).

- 17) Il sistema deve essere aperto ossia offrire la possibilità di editare nuovi parametri in seguito alle ricerche sperimentali di ottimizzazione di parametri che il centro si prefigge così come la possibilità di mettere in macchina nuovi materiali per cui sarà il centro stesso a sviluppare i parametri di produzione.

L'attrezzatura deve essere nuova di fabbrica e mai usata ed essere provvista di garanzia legale di 12 mesi. L'attrezzatura deve essere spedita e installata presso il centro IAM@POLITO dove verrà sottoposta a verifica di conformità per accertarne il buon funzionamento. Inoltre, è richiesta al fornitore dell'attrezzatura **un training** completo sulle modalità di utilizzo della stessa per 2 giorni e per 4-6 addetti.

Technical specifications for the purchase of an “ Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni”

As part of the IAM @ POLITO Center (Integrated Additive Manufacturing @ POLItecnico di TORino) interdepartmental laboratory, we want to develop new metal and ceramic materials and new additive products with optimized performances. At this center there is already a machine of the Electron Beam Powder Bed type/Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni: it is the EBM A2X of GE ADDITIVE (simply called A2X in the following) but a number of reasons listed below makes necessary to purchase a second equipment of the Electron Beam Powder Bed type/Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni.

The A2X has a large working chamber and therefore requires large quantities of powder to be loaded inside. The cost of the powders is considerable and, above all, as we are dealing with research work, we often find ourselves in the condition of having to test small batches of different chemical compositions in order to improve the characteristics of the final component produced. Every time having to buy more than 50 Kg of powder, of more chemical compositions, for preliminary tests is extremely expensive. Furthermore, in the IAM @ POLITO interdepartmental centre we have equipped ourselves with an atomizer to autonomously produce small volumes of powders with ad hoc chemical compositions to develop new alloys. Given that, the possibility of having a small machine has emerged on the market of Electron Beam Powder Bed machines/ Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni, we believe it is essential for the efficiency of the activities to equip ourselves with a small machine to start optimizing the process parameters on small batches of powders and then move on to the large machine (A2X), already in our possession, only on the materials that pass this first phase and with which we move on to the phase of optimization of the production of prototypes of components or large quantities of specimens to make material characterizations complete.

In addition, the research group has developed a patent for the production of non-oxidic ceramic materials (for example Silicon Carbide, SiC) starting from a mixture of precursor powders of the desired ceramic made of a metallic powder (for example Silicon powder) plus a non-metallic powder (for example Carbon powder) which, after prior mixing, must be inserted in an additive manufacturing machine that works in vacuum to be selectively melted by the energy source of the machine. The metallic powder melts and triggers a reaction with the non-metallic powder that allows the ceramic material to be made only where the section of the component's CAD drawing passes the energy source. So far, with the current A2X

machine present in the IAM center, we have not been able to carry out the experimental research to prove the effectiveness of the patent because the Si + C powder mixture has not demonstrated the sufficient flowability to be spread on the work table and subsequently be hit by the energy source. In fact, the A2X exploits the autonomous flowability of the inserted powders by gravity and unfortunately the non-metallic powder is not on the market with sufficiently spherical particles to ensure the autonomous smoothness of the resulting mixture. Nowadays, an Electron Beam Powder Bed machine/Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni has been developed capable of having a powder distribution system with a distribution blade that collects the powder from the reserve tank thus avoiding having to exploit the gravity flowability of the powders. Therefore, the research centre considers it essential to equip itself with this machine as well.

Another aspect that has severely limited the experimental activity aimed at proving the effectiveness of the patent mentioned above is the fact that even if it was possible to efficiently spread a layer of powder mixture on the working table first of all it is necessary to preheat the powder spread to sinter the powder in order to have a sufficiently consolidated powder that when it receives the high energy electron beam for the selective melting there is no projection of powder particles called "smoke". Having "smoke" means that powder particles jump off the powder bed, leaving a defective powder bed and consequently we will have defects in the final component produced. The sintering in the A2X machine is done by exploiting the electron beam itself by passing it on the powder spread with a low energy. This operation works well on metallic powders but not on a mixture of metallic and ceramic powders because the ceramic part has a low electrical conductivity and gives rise to an important "smoke" phenomenon. The machine on the market, with which we would like to equip ourselves, is instead also equipped with an indirect system for preheating the powder bed described in the technical specifications that allows us to overcome this problem too.

There is therefore the need to acquire an Electron Beam Powder Bed/Sistema di additive manufacturing con sorgente a fascio di elettroni type equipment that meets the requirements described below:

- 1) The equipment must ensure that **metallic powders or a mixture of metallic and non-metallic powders** can be used as starting material for the construction of the specimens. These specimens must be made by adding the powders **layer by layer**.
- 2) The equipment must be of the **powder bed type** which differs from the "blown powder" category because only in this way the high and uniform preheating described in points 4 and 5 can be obtained, which guarantees to minimize thermal shocks which would prevent the possibility of making specimens in ceramic materials or in low ductile metallic materials.
- 3) A **high power density** is required to melt even high-melting materials. Consequently, the equipment is required to be **well thermally insulated** and **resistant to distortions**. The maximum power must be ≥ 6 kW and the acceleration voltage must be 60 kV. The heat shields must be stainless steel plates wrapped in thick shiny aluminium/ stainless steel foil. The Al foil has excellent heat reflectance the stainless steel foil less but can sustain higher temperatures. The choice of the right foil should be a freedom of the operator. The two kind of foils can easily be replaced whenever needed thus allowing the protection of the shields itself.
- 4) A **high speed for the movement of the energy source** (even higher than 2000 m/s), which determines the selective melting of the powder, is required in order to generate the preheating described in point 5 and guarantee the homogeneity of temperature inside the chamber fundamental to prevent specimens cracking or distortions.
- 5) The equipment must be able to **preheat at least at 1200° C** and ensure the uniformity of the temperature of the powder for each layer of deposited powder. This preheating must therefore not be carried out by heating the working table on which the object grows from below by means of resistances, but must be performed upon each layer of powder spread. Only in this way is it possible to guarantee the high preheating temperature for the entire duration of the growth (when the preheating is done by acting below the working table, as it lowers it moves away from the new deposited layers and therefore the preheating progressively decreases and it is different

between the first deposited layers and the last ones). We also refer to the request for good thermal insulation required in point 3.

- 6) To satisfy the previous points, such equipment must use an **electron beam** and not a laser source to generate the preheating and selective melting of the powder.
- 7) **An indirect method of preheating each single layer of powder must also be possible:** there must also be the possibility of inserting a heat-resistant platform above the newly distributed powder layer so that it is directly preheated by the defocused beam and then the platform preheats the powder layer by irradiation, bringing it to partial sintering. In this way there will be the possibility of avoiding “smoke” problems during the delicate phase of preheating and sintering of the powder before the actual melting.
- 8) The **size of the focused beam** must be $\leq 300 \mu\text{m}$ to ensure good accuracy of the produced specimens.
- 9) The equipment must **allow the operator to decide the path for the movement of the beam during the selective melting** of the starting powders because the optimization of the path is part of the parameters that, if optimized, can guarantee better performances of the produced specimens. For example, by controlling the path of the beam, the growth of the crystalline grains of the material can be controlled.
- 10) The **beam deflection angle** to cover the entire work area must be $<15^\circ$. Only a low angle of deflection guarantees that there are only small variations in the beam size on the working table.
- 11) The equipment must work in **vacuum** (to be able to reach up to 10^{-6} mbar). This ensures that contamination is avoided as much as possible during the growth of the specimens / components. With the capability to start reaching a vacuum of 10^{-4} mbar in less than 15 minutes to ensure production efficiency and reduce waiting times when starting the machine.
- 12) The **volume of the production zone** must be very small (maximum diameter 100 mm and maximum height 100) in order to be able to reduce the amount of powder. This is necessary in order to optimize the chemical composition of the starting powders thus improving the performance of the final material. The standard build plates have to be made of **stainless steel**. However, since the build plate geometry is a simple solid disc there have to be the freedom for the user to change it with a variety of materials of our choice in order to increase a good interaction with the new developed materials.
- 13) **The powder tank and the powder distribution system have to be placed in separated vacuum compartments** that is closed off from the build tank via a shutter. In this way the powder tank is not subjected from heat or spatter from the build process. So the powder tank compartment must have a separate vacuum pump that helps to take away moisture in the powder prior to raking.
- 14) The **powder distribution system must not take advantage of the fact that the powders flow by gravity** but must be equipped with a distribution blade that picks up the powder from the powder reserve tank. Exploiting the gravity of the powders for their distribution is limiting because it imposes that only spherical and sufficiently coarse powders must be used. The non-metallic powder mentioned in the preliminary part of this description, for example, was not found to have sufficient autonomous flowability by gravity.
- 15) **Possibility to work also with powders with minimum dimensions even lower than 45 μm .** Small dust particles limit smoothness but nowadays there is a big field of research on new materials that aims to reinforce metallic materials with micro-nanometric reinforcements.
- 16) The equipment must be equipped with a **BSE detector to be able to make images of each layer of the component under construction using "backscattered" electrons**. The images must provide both topographical and compositional information in a similar way to what is done with a scanning electron microscope. Nominal resolution should be similar to the spot size of the beam. This possibility allows to control layer by layer the production of the specimens / components allowing to check that there have been no problems in a layer that can determine the presence of a defect in the specimen / component and it is more reliable and robust, since it is much less sensitive to metallization, with respect to optical imaging through a viewport).

- 17) **The system must be open**, i.e. offer the possibility of editing new parameters as a result of the experimental research for the parameters optimization that the centre aims at as well as the possibility of inserting new materials into the machine for which the centre itself will develop the parameters of production.

The equipment must be new from the factory and never used and be covered by a legal guarantee of 12 months.

The equipment must be shipped and installed at the IAM @ POLITO center where it will be subjected to a compliance check to ensure its proper functionalities.

In addition, a complete training on how to use the equipment is required from the supplier of the equipment for 2 days and for 4-6 employees.