**Specifiche tecniche per l’acquisto di una macchina Hot Isostatic Pressing (HIP)**

Premessa

L’attrezzatura da acquistare sarà installata all’interno del Centro Interdipartimentale Integrated Additive Manufacturing @ POLItecnico di TOrino (IAM@POLITO). Tale centro è stato concepito come una piattaforma di ricerca da attrezzare con grandi apparecchiature, molto specializzate, che permetteranno lo sviluppo di una serie di attività di ricerca multidisciplinari. Il Centro ha l’obiettivo di fornire risposte ad alcune domande ancora aperte nel campo della manifattura additiva (additive manufacturing, AM) dei componenti metallici e, in genere, di tutte le tecnologie integrate di metallurgia delle polveri (dalla fabbricazione delle polveri ai post-trattamenti dei componenti fabbricati con le più avanzate tecniche di metallurgia delle polveri).

Recentemente, il centro IAM@POLITO ha vinto uno specifico finanziamento, denominato INFRA-P (P.O.R. FESR 2014/20 – Asse I – Azione I.1.a.1.5 – Codice domanda 321 – 30), messo a disposizione dalla Regione Piemonte. In particolare, l’azione di riferimento del bando INFRA-P per cui lo IAM@POLITO ha applicato è stata la I.1.a.1.5 “Sostegno alle infrastrutture di ricerca considerate critiche/cruciali per i sistemi regionali”. Questa Azione di finanziamento della Regione Piemonte ha lo specifico obiettivo di investire in laboratori e nella loro relativa dotazione di attrezzature al fine di sviluppare Infrastrutture di Ricerca, finalizzate a realizzare attività di ricerca che portino a rilevanti applicazioni per il settore industriale regionale. Una richiesta specifica dello schema di finanziamento INFRA-P è che le attrezzature acquisite grazie ad esso siano parzialmente utilizzate dalle Infrastrutture finanziate per offrire servizi esterni alle aziende piemontesi e di altre regioni.

In linea con queste premesse, l’attrezzatura da acquistare dovrà avere caratteristiche adatte a poter soddisfare esigenze sia di carattere scientifico sia di produzione di piccoli lotti (o di prototipizzazione).

*Requisiti tecnici del sistema Hot Isostatic Pressing richiesto*

Nell’ambito delle attività descritte nella Premessa, il gruppo di ricerca che lavora nello IAM@Polito ha pianificato, fin dalla nascita del Centro, l’acquisto di un sistema di Hot Isostatic Pressing (HIP). Il sistema richiesto sarà utilizzato sia per finalità di ricerca sia per l’esecuzione di servizi di produzione di piccoli lotti o di prototipizzazione, nell’ambito di azioni di trasferimento tecnologico alle aziende del tessuto industriale piemontese e di altre regioni.

I campi di interesse per l’utilizzo dell’attrezzatura sono:

1) l’applicazione dell’HIP come metodo di fabbricazione, ovvero per la fabbricazione di componenti direttamente per densificazione di polveri metalliche all’interno di uno stampo consumabile, Near Net Shape Hot Isostatic Pressing (NNSHIP);

2) l’applicazione dell’HIP come post trattamento su componenti fabbricati con altri metodi produttivi, quali la colata, la forgiatura o l’additive manufacturing.

In entrambi questi campi è anche di grande interesse l’esplorazione della possibilità di combinare, nella stessa macchina, il processo HIP con il successivo trattamento termico dei materiali metallici.

In base al livello di sviluppo raggiunto dalla tecnologia, il primo campo di interesse attiene principalmente alla ricerca, con la principale finalità di dimostrare l’applicabilità industriale del processo. Su questo tema, uno dei principali argomenti da affrontare è la definizione delle curve di densificazione per diversi materiali di interesse. Questo studio aiuterà a consolidare le conoscenze delle relazioni fra i parametri di densificazione (tempo-temperatura-pressione) e le proprietà del materiale (per esempio la densità, le proprietà meccaniche e termiche, ecc.). Un altro tipo di studi da sviluppare sarà dedicato alla valutazione dei materiali consolidati via HIP in termini di proprietà meccaniche e di altro tipo e al loro confronto con le proprietà delle leghe fabbricate attraverso processi tradizionali. **I materiali da investigare** per questi scopi sono: leghe di Ni e Ti e acciai.

Per quanto riguarda il secondo campo di interesse citato nel precedente elenco puntato, l’utilizzo dell’HIP su getti, parti forgiate o parti fabbricate via additive manufacturing rappresenterà principalmente un servizio fornito per l’esterno al fine di ridurre i difetti e migliorare le proprietà di questi prodotti. Oltre alle attività offerte all’esterno, l’HIP potrà anche essere applicato come post trattamento ai particolari sviluppati in additive manufacturing internamente allo IAM@POLITO. Infine, la presenza dell’attrezzatura HIP all’interno del Centro permetterà anche l’esplorazione di tutte i potenziali benefici derivanti dall’uso sinergico di questa tecnologia e dell’additive manufacturing. Da questo punto di vista, un aspetto molto interessante che deve ancora essere estesamente dimostrato a livello sia scientifico sia tecnico è il seguente: è possibile accettare alcuni dei limiti dei processi AM (es. nell’introduzione di porosità e criccature), sapendo che le proprietà finali di tali parti possono essere migliorate successivamente dal post-trattamento di HIP? Effettivamente, questo permetterebbe di ridurre i tempi e i costi del complesso set-up dei processi AM, con un evidente vantaggio in termini di produttività e di costi complessivi di produzione. Questo è un aspetto particolarmente attraente, visto che il trasferimento tecnologico dei processi di fabbricazione additiva è ancora limitato da fattori di produzione industriale. **I materiali da investigare** per questi scopi sono: leghe di Al, Ni e Ti, leghe Ti-Al e acciai.

Infine, un argomento trasversale che si intende affrontare è quello dell’esplorazione di tutte le potenziali sinergie fra i cicli di HIP e di post trattamento termico (heat treatment, HT). In questo senso, a patto di garantire elevate velocità di raffreddamento direttamente dalla stadio di stazionamento per il processo HIP, si renderebbe possibile il combinare l’HIP stesso con processi di tempra o solubilizzazione. Questo permetterebbe marcati guadagni in termini di complessiva durata della catena di fabbricazione. Questo ridurrebbe inoltre il tempo di utilizzo del forno e potrebbe anche influire positivamente sulla limitazione delle distorsioni dovute al trattamento termico. Per tutte queste ragioni, questo argomento è particolarmente interessante per l’applicazione industriale del processo.

La dimostrazione di questi vantaggi del processo HIP in sé e della sua combinazione con i processi AM può fornire una spinta alla penetrazione del mercato del processo NNSHIP e del post-trattamento HIP applicato ai prodotti AM.

Tenendo a mente queste esigenze e alcuni specifici vincoli di spazio del laboratorio in cui l’attrezzatura sarà installata, si fornisce nel seguito una **lista di requisiti tecnici vincolanti** per l’attrezzatura che deve essere acquistata.

* L’attrezzatura richiesta è un Hot Isostatic Pressing (HIP) che includa **un recipiente in pressione, un forno in molibdeno con sistema di riscaldatori in molibdeno e un mantello di molibdeno**.
* Il **minimo volume di lavoro** (il volume effettivamente utilizzabile per il processo HIP o per il trattamento termico delle parti) richiesto per il sistema HIP deve essere: il volume di un cilindro di riferimento con diametro 150 mm e altezza 270 mm o valori superiori.
* La sua **massima temperatura operativa** deve essere: 1.400°C. Questa è la massima temperatura prevista per tutti gli studi sui materiali di interesse, citati in precedenza.
* La **massima deviazione di temperatura ammessa** fra le differenti posizioni all’interno del volume di lavoro del forno in condizioni stazionarie nell’intervallo di temperature 500÷1400°C e oltre i 50 MPa deve essere: ± 10°C. Questa richiesta è fondamentale per garantire l’uniformità del forno nello stadio di riscaldamento.
* La **massima pressione operativa del gas** deve essere: almeno 2.000 bar o superiore. L’attrezzatura deve lavorare in Argon. La richiesta di raggiungere un livello di pressione così alto è giustificata dal fatto che una delle principali missioni dello IAM@POLITO è il favorire la penetrazione di mercato delle tecnologie integrate di metallurgia delle polveri avanzata. In questo senso è particolarmente interessante esplorare qualunque possibilità di semplificare i cicli di lavoro per tali tecnologie e di facilitare il loro trasferimento tecnologico (vedi la sezione Premesse). In particolare, si intendono eseguire studi specifici per verificare la possibilità di ridurre il tempo di mantenimento dello stadio di HIP grazie alla modulazione della pressione. La variazione di questo parametro, infatti, influisce sui meccanismi sia di densificazione delle polveri sia di chiusura dei pori. Il risultato tecnico atteso è quello di poter valutare se sia possibile o meno ridurre le durate complessive dei processi NNSHIP e di post-trattamento HIP.
* Durante gli stadi iniziali del ciclo operativo, ai fini di pulizia della camera, il sistema deve garantire di raggiungere un **livello minimo di vuoto** di 300 Pa.
* Incluso nel set di consegna dell’attrezzatura, deve essere presente un sistema di supporto della carica (cestello porta pezzi) compatibile con la tipologia e dimensioni della camera.
* Le **condizioni di raffreddamento** a partire dalle condizioni di HIP devono svolgersi all’interno della stessa camera del forno di HIP: lo stadio di raffreddamento deve essere eseguito all’interno della camera stessa del forno HIP, partendo direttamente dalla temperatura di HIP, e non in una camera separata con parti in movimento o caduta o in una camera/attrezzatura dedicata al post trattamento termico.

Le richieste specifiche in termini di velocità di raffreddamento nelle diverse zone del forno sono descritte nel seguito in funzione dell’obiettivo di utilizzo dell’HIP, coerentemente con quanto discusso in precedenza, e della tipologia di materiale da trattare.

* + *Goal (1) da raggiungere (focus sugli aspetti di servizio conto terzi e ricerca)*: l’applicazione di cicli standard di HIP su getti, parti forgiate e prodotti fabbricati via fabbricazione additiva e la combinazione dei cicli HIP con quelli di trattamento termico; tali attività sono da intendere anche come servizio a terze parti, come previsto dal finanziamento INFRA-P (vedi premessa). In particolare, al fine di esplorare completamente le applicazioni industriali delle tecnologie di manifattura avanzata a partire da polveri, è di grande interesse verificare la possibilità di combinare i cicli di HIP con i cicli di trattamento termico. Per questo motivo, è richiesta la possibilità di applicare velocità di raffreddamento medio-alte a partire dalla temperatura di HIP, in modo da provocare in particolare la trasformazione martensitica (es. negli acciai) e promuovere la solubilizzazione e l’indurimento per precipitazione (es. nelle leghe di Ni e di Al). Da questo punto di vista la richiesta da soddisfare obbligatoriamente è che si possa raggiungere un certo valore di velocità di raffreddamento all’interno di un determinato intervallo di temperature in varie posizioni dentro al forno.
	+ *Goal (2) da raggiungere (focus sugli aspetti di ricerca)*: la costruzione di curve di densificazione per diversi materiali (a questo scopo serve la possibilità di raffreddare rapidamente dalla temperatura di HIP dopo un determinato tempo di mantenimento). In questo caso la richiesta è che il forno debba raggiungere velocità di raffreddamento molto alte in una specifica e limitata area all’interno della camera del forno. In questo caso, è pertanto richiesta minore attenzione alle deviazioni di velocità di raffreddamento all’interno della camera, in quanto l’intenzione è fabbricare un limitato numero di campioni in cui la densificazione sia bloccata e su cui si possano eseguire ulteriori test sperimentali. Non c’è insomma l’esigenza di trattare un vero e proprio lotto di parti differenti per raggiungere questo goal.

Nel seguito si forniscono i dettagli delle caratteristiche da rispettare per raggiungere i precedenti goal, separando il ragionamento fra materiali da trattare nel range di temperatura alta (es. acciai e leghe di Ni) e bassa (es. leghe di Al).

* **HIP + generica tempra di acciaio.** Per quanto riguarda la tempra di acciai martensitici, il forno deve essere in grado di garantire per un lotto costituito da 5 kg di acciaio, supportato in un cesto portapezzi, una velocità media di raffreddamento di 13°C/s; tale dato deve essere misurato nel flusso di gas temprante all’interno del forno HIP, per l’intervallo di riferimento 800÷500°C.
* **HIP + solubilizzazione di leghe di Al**. Per quanto riguarda la solubilizzazione di leghe di Al, il forno deve essere in grado di garantire per un lotto costituito da 5 kg di lega di Al, supportato in un cesto portapezzi, una velocità media di raffreddamento di 3°C/s; tale dato deve essere misurato nel flusso di gas temprante all’interno del forno HIP, per l’intervallo di riferimento 520÷200°C.
* **Massima velocità di raffreddamento**. Nella costruzione delle curve di densificazione, è richiesto di avere velocità di raffreddamento alte direttamente a partire dalla temperatura di HIP dopo un determinato tempo di mantenimento. In questo caso la richiesta è che il forno debba garantire, almeno in una regione all’interno della camera, una velocità di raffreddamento di 15°C/s o superiore; tale dato deve essere misurato nel flusso di gas temprante all’interno del forno HIP, per l’intervallo di riferimento 1.100÷500°C.
* **Aspetti di sicurezza, principi di progettazione delle parti pressurizzate e metodologia per l’ispezione periodica.** L’intero sistema assemblato da consegnare deve essere provvisto di certificazione CE e, per le parti pressurizzate, di certificazione in accordo con la European Pressure Equipment Directive (PED). Queste certificazioni sono a carico del fornitore, che ne dovrà sostenere i costi. La progettazione della parte dell’assemblato che lavora in pressione deve essere svolta secondo il principio “leak before failure”. Questo è richiesto al fine di mantenere sicuro l’ambiente del laboratorio e, in particolare, limitare i rischi di esplosione con espulsione di detriti. Al fine di limitare i costi correlati alle ispezioni periodiche previste dalla legge italiana sull’integrità delle camere in pressione, si richiede al produttore di garantire che per effettuare l’individuazione di danni incipienti tutte le parti da ispezionare siano accessibili e misurabili con analisi in loco, senza cioè l’esigenza dello smontaggio di parti e di loro ispezione in laboratorio esterno. Si chiede, pertanto, che il produttore garantisca che a questo scopo siano necessarie solo analisi volumetriche e analisi non distruttive superficiali (es. liquidi penetranti o ultrasuoni).
* Insieme alla fornitura del sistema HIP è richiesto di avere, collocate nel volume del forno, **4 termocoppie (tipo B)** per il **controllo on line del carico durante il trattamento.**
* **Attrezzature ausiliarie.** Il sistema assemblato da consegnare deve essere completamente equipaggiato con: il sistema di alimentazione e di controllo destinato a gestire tutto il sistema e i sotto-sistemi; un pannello di controllo; un sistema di gestione dei gas (compressore, valvole e tutti gli accessori necessari a gestire l’alimentazione del gas dentro al forno); un sistema per generare il vuoto, come da richiesta precedente (pompa e i correlati circuiti); un sistema di raffreddamento a ricircolo d’acqua (da alimentare con acqua fornita dal compratore) per soddisfare tutte le esigenze del sistema e dei sotto-sistemi.
* **Layout in relazione alla collocazione finale in laboratorio.** L’attrezzatura dovrà essere collocata in un laboratorio che ha uno spazio definito (in allegato un layout preliminare del laboratorio stesso). Pertanto, è richiesto che, escludendo il sistema di alimentazione del gas (serbatoio o pacco bombole) che sarà fornito dal compratore, il sistema di raffreddamento dell’acqua (Chiller) e il sistema di de-ionizzazione dell’acqua, il sistema HIP e tutte le parti ausiliarie, citate in precedenza, siano fornite assemblate in una singola unità operativa. Allo stesso tempo, l’assemblaggio di tutto il sistema e i sotto-sistemi in un’unica unità operativa deve garantire l’accesso facilitato dell’operatore a tutte le aree di lavoro durante la normale operatività e le operazioni di manutenzione ordinaria. E’ inoltre richiesto che questa singola unità operativa sia equipaggiata con una stazione di preparazione del carico di lavoro (work load) e di un sistema dedicato di carico e scarico che consenta di movimentare le parti mobili dell’attrezzatura (cioè il work load, la chiusura top del forno, ecc.).
* E’ inoltre richiesta la **fornitura di un sub-sistema separato di raffreddamento dell’acqua (Chiller)** asservito a tutte le operazioni durante il ciclo di lavoro HIP. Il dimensionamento del Chiller deve esser compatibile con il sistema HIP consegnato.
* E’ inoltre richiesto il **trasporto dal sito di produzione dell’attrezzatura al Politecnico di Torino, Campus di Alessandria,** Viale Teresa Michel 5, Alessandria (Italy). Nel sito di consegna è inoltre richiesto di garantire lo **scarico al livello pavimento della attrezzatura e l’esecuzione dell’installazione e del test finale**.
* **Tempi di consegna**. A partire dalla data dell’ordine, l’attrezzatura dovrà essere consegnata, installata e testata per il funzionamento al Politecnico di Torino, Campus di Alessandria, entro 6 mesi.
* Il **sistema di gestione dei parametri** dovrà essere **aperto**, in modo da poter modificare le ricette di HIP/HT per ogni ciclo di lavoro.
* E’ inoltre richiesta a **formazione del personale selezionato dal compratore** durante il test finale operativo prima della consegna (nel sito del produttore) e durante l’installazione presso il sito del compratore.
* Il sistema deve essere **nuovo e non ricondizionato**.
* Il sistema deve essere consegnato con **almeno due anni di garanzia fornita dal produttore.**

**Allegato: layout preliminare del laboratorio di destinazione**

