DOI 10.36146/2026_10_34

Manifattura additiva di una lega ferritica per applicazioni nello scambio termico in ambiente corrosivo alcalino

D. Mirabile Gattia, L. Pilloni, A. Tatì, G. Corallo

Le macchine ad assorbimento, quali quelle a ciclo acqua-ammoniaca, vengono utilizzate in sistemi di refrigerazione e condizionamento e possono essere installate accoppiate con impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, ottenendo soluzioni sostenibili nell'ottica della decarbonizzazione. Gli scambiatori di calore rappresentano un componente critico per il funzionamento della macchina stessa. In questo contesto, il presente lavoro si è focalizzato sullo sviluppo di una nuova lega ferritica, con un approccio di *alloy design*, mediante l'utilizzo di software di simulazione termodinamica, e nell'ottica della riduzione dell'utilizzo di materie prime critiche o strategiche. Le proprietà attese della lega sono una maggiore conducibilità termica, rispetto a un acciaio inossidabile di riferimento, l'AISI 316, e una buona resistenza alla corrosione in ambienti alcalini, quali le soluzioni acqua/ammoniaca. La ricerca ha permesso di esplorare le proprietà di una nuova lega, attualmente non esistente in commercio, processata mediante manifattura additiva, con l'intento di realizzare scambiatori di calore, con geometria interna complessa in un singolo blocco.

PAROLE CHIAVE: LEGA FERRITICA; MANIFATTURA ADDITIVA; SCAMBIO TERMICO; MICROSTRUTTURA.

INTRODUZIONE

All'interno delle macchine ad assorbimento, un fluido con punto di ebollizione a bassa temperatura compie un ciclo termodinamico, in genere miscele acqua e bromuro di litio o acqua e ammoniaca. Nel primo caso l'acqua è il fluido refrigerante, che evapora sottraendo calore, e il bromuro di litio, che è un sale fortemente igroscopico, agisce come composto assorbente. Nel secondo caso l'ammoniaca ha il ruolo di refrigerante, mentre l'acqua si comporta da solvente/assorbente. Queste macchine possono essere utilizzate per impianti di refrigerazione e di climatizzazione civile e industriale, realizzando soluzioni ad alta efficienza. Inoltre, accoppiate con impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, quali per esempio impianti di solare termico, possono essere utilizzati per la refrigerazione di edifici (*solar cooling*). Questi sistemi, oltre a essere compatti, consentono quindi di ridurre l'impatto ambientale degli impianti di climatizzazione, portando a una riduzione delle emissioni nell'ambiente, perché utilizzano principalmente energia termica, anziché elettricità, e non richiedono fonti di energia da combu-

Daniele Mirabile Gattia,
Luciano Pilloni,
Angelo Tatì,
Giuseppe Corallo
Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento
al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali,
ENEA CR Casaccia,
Via Anguillarese 301, 00123 Rome

stione di combustibili fossili. In queste macchine, al fine di consentire il ciclo del fluido, sono presenti numerosi scambiatori di calore [1, 2]. La presenza dell'ammoniaca crea, all'interno dell'impianto, un ambiente alcalino altamente corrosivo. L'utilizzo di processi di brasatura o *diffusion bonding*, che utilizzano composti a base nichel e rame non sono idonei per la realizzazione di scambiatori di calore per queste applicazioni. Il nichel e il rame in presenza di ammoniaca tendono a formare dei complessi che possono portare al danneggiamento dello scambiatore. Inoltre, la presenza di ammoniaca non è compatibile con l'utilizzo di scambiatori compatti assemblati. I processi di produzione citati sono inoltre energivori, perché richiedono lunghi trattamenti termici, una lunga fase di assemblaggio delle piastre e possono presentare difetti interni tali da mettere in comunicazione i canali.

I processi di manifattura additiva (AM) consentono di realizzare componenti con geometrie interne estremamente convolute, idonee quindi per scambiatori di calore. Il percorso del fluido, mediante un'opportuna ottimizzazione topologica, può essere progettato in maniera tale da massimizzare il coefficiente di scambio termico globale. In questi processi, il materiale viene fuso dove serve ed è possibile quindi ridurre notevolmente il materiale di scarto, rispetto a metodi di produzione convenzionali [3]. La diffusione delle tecnologie additive nei diversi settori produttivi si presenta al momento limitata, rispetto alle potenzialità, in particolare anche per la limitata velocità di stampa [4]. Un altro aspetto critico dei processi di manifattura additiva, in particolare di leghe metalliche, è il numero limitato di materiali disponibili per i diversi processi [5, 6]. In generale le tecnologie di AM presentano un tasso di produzione (kg/h) inferiore rispetto alle tecnologie sottrattive (lavorazioni meccaniche etc.), ma anche una richiesta di potenza inferiore di un ordine di grandezza risultando un'intensità di energia elettrica (J/kg) del processo AM superiore rispetto ai processi di manifattura convenzionali [7]. Nel prossimo futuro è comunque atteso un enorme incremento dell'utilizzo delle tecnologie additive e, a fronte di questo, un beneficio in termini ambientali, legato anche alla possibilità di riutilizzo delle materie prime di processo [8]. Infatti, nel caso dello scambiatore di calore, realizzato a partire da piastre forate o piegate e successiva saldobrasatura o *diffusion bonding*, il materiale asportato per punzonatura rappresenta una quantità rilevante rispetto all'intero scambiatore compatto. Il materiale asportato deve essere successivamente recuperato, lavato, rifuso e lavorato per ottenere nuovamente delle piastre. Inoltre, bisogna considerare anche il materiale di sfrido derivante dal taglio delle lamine dalle quali sono state ricavate le piastre. Mediante l'utilizzo delle tecnologie additive, ottimizzando il volume di stampa, è possibile ridurre drasticamente gli sfridi di lavorazione.

Il problema tecnologico oggetto del presente studio risulta quindi un esempio particolarmente interessante di penetrazione delle tecnologie additive nel sistema produttivo. Da una parte infatti è stata progettata e sviluppata una lega ferritica resistente alla corrosione in ambiente alcalino, per applicazioni dove è previsto l'uso di ammoniaca, e dall'altro la lega è stata prodotta in forma di polvere, per l'ottimizzazione dei parametri del processo additivo a letto di polvere con fusione delle particelle mediante laser (Laser Powder Bed Fusion, LPBF) e con l'obiettivo di realizzare uno scambiatore di calore in un singolo blocco. Il lavoro presenta quindi per la prima volta risultati sperimentali su una lega ferritica non attualmente presente in commercio.

MATERIALI E METODI

Le polveri atomizzate in gas sono state prodotte tramite il processo VIGA (Vacuum Induction Melting Inert Gas Atomization). Le analisi chimiche delle polveri, prodotte mediante gas atomizzazione, sono state effettuate mediante combustione, per gli elementi C, S, O, N e H, direttamente su campione massivo in polvere, e, per gli altri elementi, mediante spettrometria di emissione atomica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-OES), su campione disciolto. Le misure di scorrevolezza sono state condotte utilizzando un imbuto di Hall: 50 g di polvere vengono fatte scorrere attraverso un foro calibrato, di diametro pari a 2.5 mm, di un imbuto con le pareti inclinate a 30° (norma ASTM B213). La misura prevede la misurazione del tempo impiegato dalla polvere a uscire dall'imbuto. Per l'analisi delle dimensioni delle particelle, PSD (Particle Size Distribution), è stato utilizzato un sistema a diffrazione laser. L'analisi consente di misurare la distribuzione granulometrica delle particelle su un campione di materiale consistente. La polvere è stata processata mediante una stampante 3D modello EOS M280, presso l'azienda 3D Metal [9], per realizzare cubi con lato di 1 cm, al fine di

ottimizzare i parametri di stampa, e campioni a forma di cilindro e parallelepipedo. Le caratteristiche principali della macchina sono riportate di seguito: potenza max laser: 400W; area di esposizione: 250 mm x 250 mm; massima altezza utilizzabile: 300 mm; velocità massima di scansione: fino a 7000 mm/s; spot laser: 100 μm. Le osservazioni e le indagini microstrutturali sono state effettuate mediante Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) EVO MA15 Zeiss, equipaggiato con rilevatore per *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) Oxford. È stato utilizzato un software di analisi d'immagine per valutare la morfologia delle particelle prodotte mediante gas atomizzazione. La conducibilità termica della lega è stata misurata mediante il metodo "hot disk", utilizzando uno strumento Hot Disk TPS 500 su due campioni di lega, ottenuti mediante processo LPBF, speculari di 4 cm di diametro e 3,5 cm di spessore. Sono state condotte prove non distruttive mediante ultrasuoni e tomografia computerizzata a raggi X, con un tomografo Mod-XE-L HE 450 della Gilardoni, al fine di rilevare la presenza di difetti nei campioni realizzati mediante processo LPBF. Le misure di diffrazione X sono state condotte mediante un diffrattometro Smartlab Rigaku, con sorgente Cukα e attenuazione della fluorescenza mediante rilevatore D/TEX ULTRA 250. Le misure sono state condotte nell'intervallo 20-120 2theta con tempo di acquisizione di 1°/min.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Lo studio condotto con il software Thermocalc 5 (Database TCFe7, [ ]) ha permesso di chiarire alcuni aspetti legati al contenuto di Cr e Ti nella composizione. In figura 1 è mostrato lo "*stepped calculation graph*" relativo alla composizione 16% Cr e 1%Ti.

L'aumento del Cr non incide particolarmente sulle temperature di formazione delle fasi di Laves del tipo Fe_2Ti. Le temperature di formazione degli ossidi di titanio, dei carbo-solfuri di titanio e dei nitruri di titanio variano con la concentrazione di Ti, ma, anche a concentrazioni più basse, si ritiene siano inclusioni non eliminabili a partire dal fuso. Alcune fasi si sviluppano a bassa temperatura (intono ai 650°C), ma non sono rilevanti per due motivi. Il primo è che la loro frazione molare è di due ordini di grandezza inferiore alla fase principale di interesse (fase di Laves); il secondo motivo è legato alla massima temperatura di esercizio prevista per la lega, 150°C. Infatti, dopo un trattamento di solubilizzazione e di distensione, la loro formazione richiederebbe tempi infiniti, visto che la precipitazione avviene per fenomeni diffusivi e che i coefficienti di diffusione alle temperature di funzionamento sono estremamente bassi.

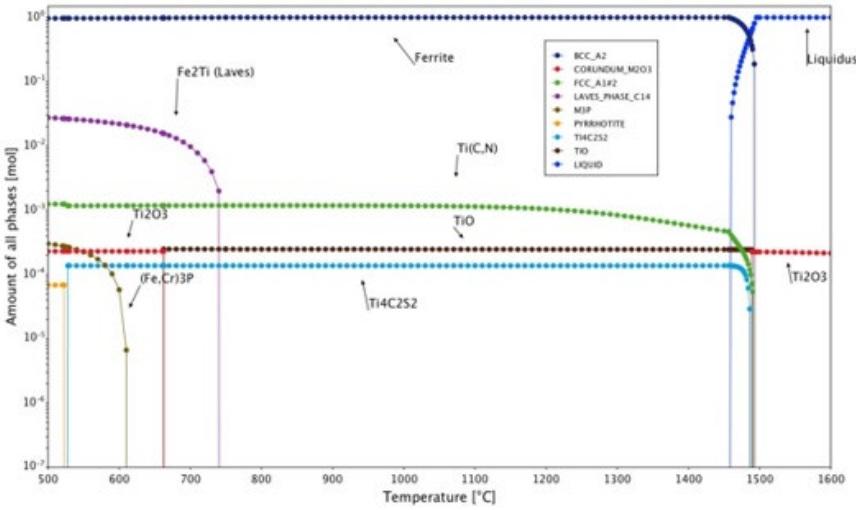

Fig.1 - *Stepped calculation graph* (Thermocalc) relativo alla composizione Fe16Cr1Ti / *Stepped calculation graph (Thermocalc) for Fe16Cr1Ti composition.*

Le simulazioni effettuate con Thermocalc hanno mostrato come la temperatura di formazione delle fasi di Laves passi dai 930°C per la lega 14.5Cr2.5Ti a 739°C per la lega 16Cr1Ti e la frazione molare delle fasi di Laves passi da 7,4% a 2,2%, consentendo di abbassare la temperatura post-processing di solubilizzazione o di distensione. Questo è particolarmente importante per gli acciai ferritici o ferritico-martensitici visto che, se troppo induriti, a differenza degli acciai austenitici, possono manifestare fenomeni di infragilimento a urto a temperatura ambiente [11].
In un precedente lavoro, sono stati effettuati test di corrosione su campioni realizzati con processo LPBF in lega ferritica 14.5Cr2.5Ti, fino a temperature di 150°C, in soluzione al 15% in volume di ammoniaca per 32 giorni. I risultati delle prove hanno mostrato una buona resistenza alla corrosione, con valori trascurabili di variazione di peso, sia per i campioni trattati a temperatura ambiente che a 150°C. L'effetto della corrosione è stato studiato anche per la polvere di lega ferritica prodotta mediante gas atomizzazione, con risultati analoghi ai campioni realizzati mediante processo LPBF.
In tabella 1 è riportata parte della specifica tecnica utilizzata per definire la composizione della lega successivamente prodotta mediante gas atomizzazione. La composizione prevede appunto un contenuto quanto più basso possibile degli elementi C e N.

Tab.1 - Specifica tecnica della lega Fe16Cr1Ti / *Technical specification of Fe16Cr1Ti alloy.*

Elemento	Min	Max	Target	Fornito
	%peso	%peso	%peso	%peso
Fe			Bal	Bal
Cr	15.5	16.5	16	16.4
C		< 0.04	a.l.a.p	0.004
Ti	0.8	1.2	1	0.95
S		< 0.006	a.l.a.p	0.002
O		< 0.02	a.l.a.p	0.0195

Dopo la produzione della lega, mediante gas atomizzazione, sono state condotte indagini chimico-fisiche al fine di determinarne le caratteristiche chimiche e morfologiche. In figura 2 sono riportate le curve "Frequency" e "Undersized" ottenute mediante diffrazione laser. Il grafico mostra una distribuzione omogenea nell'intervallo di interesse (15-45 μm).

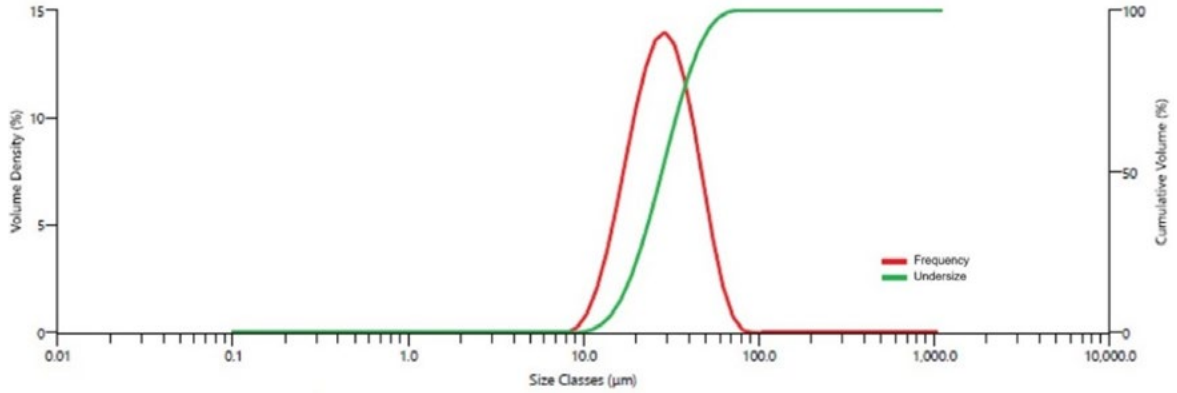

Fig.2 - *Curve Frequency* e *Undersized* ottenute diffrazione laser del campione (PSD) di lega ferritica in polvere prodotta mediante gas atomizzazione / *Frequency and Undersized curves obtained from laser diffraction analysis (PSD) of a ferritic alloy powder produced by gas atomization.*

In tabella 2 sono riportati i valori dimensionali ottenuti mediante diffrazione laser, la scorrevolezza, misurata mediante imbuto di Hall, la densità apparente e la tap density.

Tab.2 - Risultati delle misure reologiche / *Results of rheological measurements.*

Parametri	Fe16Cr1Ti
D10 [µm]	16.221
D50 [µm]	28.099
D100 [µm]	47.250
Hall Flow [s/50g]	29.24
Tap Density [g/cm³]	4.79
Apparent Density [g/cm³]	4.07

Uno degli aspetti morfologici più importanti nei processi LPBF è la morfologia delle polveri utilizzate e l'assenza di difetti. Questi in genere si presentano in forma di satelliti, particelle allungate, particelle parzialmente cave o sfaccettate. Mediante analisi di immagine sono stati determinati alcuni parametri descrittivi della morfologia delle polveri. In figura 3 è riportato una delle immagini SEM della polvere di lega Fe16Cr1Ti e l'analisi di immagine effettuata.

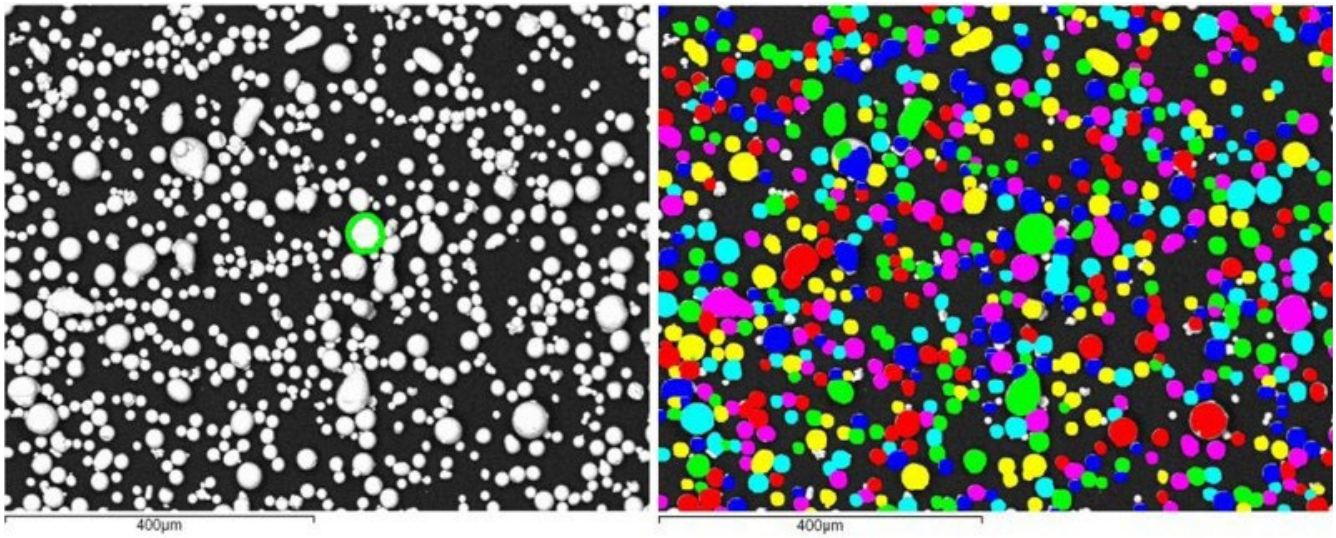

Fig.3 - Immagini SEM delle particelle di lega ferritica (sinistra) e analisi d'immagine per lo studio della loro morfologia (destra) / *SEM images of ferritic alloy particles (left) and image analysis to study their morphology (right).*

I risultati di questa analisi, condotta su un numero significativo di particelle, sono riportati in tabella 3 e dimostrano l'elevata sferoidicità delle polveri. Questo risultato è in accordo con i risultati di scorrevolezza ottenuti mediante imbuto di Hall.

Tab.3 - Risultati relativi alla morfologia delle particelle di lega ferritica ottenute mediante un software di analisi delle immagini SEM / *Results concerning the morphology of ferritic alloy particles, obtained using a software for the analysis of SEM images.*

Class	Features	% total features	Feature area (sq. μm)	% total area	
All Features	605	100	1,23E+05	23.673	
Measure	**Count**	**Min**	**Max**	**Mean**	**St Dev**
Area (sq. μm)	605	0,66	1565,91	202,8	193,5
Aspect Ratio	605	1,04	4,06	1,3	0,3
Breadth (μm)	605	0,81	40,35	14,1	6,1
ECD (μm)	605	0,92	44,65	14,8	6,4
Length (μm)	605	1,15	49,04	17,1	7,2
Perimeter (μm)	605	2,18	170,19	50,7	24,8
Shape	605	0,57	2,64	1,2	0,2

Classi ECD (μm)

Class	<1,00	1,00-5,00	5,00-10,00	10,00-20,00	20,00-30,00	30,00-40,00	40,00-50,00	>=50,00
All Features	15	3	84	407	78	14	4	0

La polvere è stata successivamente utilizzata nel processo additivo LPBF e sono stati realizzati campioni di forma cubica, parallelepipeda e cilindrica. I parametri di stampa ottimali individuati prevedono la potenza del laser pari a 180W, velocità del laser pari a 900mm/s, un *hatch spacing* di 0,09mm, altezza dello strato di 20 micron, con una densità di energia pari a circa 111 J/mm^3.

L'ottimizzazione dei parametri è stata eseguita mediante la stampa di cubi da 1 cm di lato dei quali è stata misurata la densità, il cui valore massimo ottenuto è pari a pari a 99.95%±0.19%. Le pesate sono state effettuate con una bilancia con un'incertezza strumentale di 1.5 mg. L'incertezza nella misura della densità è pari a ±0.015 g/cm^3. In figura 4 sono riportati i diffrattogrammi X relativi alla lega Fe16Cr1Ti in forma di polvere e stampato mediante LPBF. La fase presente, nei limiti di risoluzione della tecnica, è principalmente la BCC α-Fe.

Tramite analisi di Rietveld sono stati calcolati i parametri di cella, la dimensione dei cristalliti e il microstrain nei due campioni, come di seguito riportato. Lega in polvere: a=0.287765±9E-6nm, crystallite size=156.6±4.2nm, microstrain=0.00129±1E-5; Lega 3D: a=0.28735±1E-5nm, crystallite size=215.6±4.4nm, microstrain=5.31039E-4±3E-5. È possibile notare, come la dimensione dei cristalliti sia superiore nel caso della lega stampata, probabilmente a causa del processo ad alta temperatura, rimanendo comunque di piccole dimensioni, e come vi sia una diversa tessitura tra la lega in forma di polvere e la lega processata mediante LPBF (figura 4). Notoriamente, infatti, la manifattura additiva introduce una anisotropia nella direzione dei grani osservabile nelle sezioni trasversali nella direzione parallela a quella di crescita, quale quella indagata mediante diffrazione di raggi X.

In figura 4, a destra, sono riportate immagini SEM dei campioni ottenuti mediante LPBF con parametri non ottimizzati (a) e con i parametri corretti (b). È possibile osservare come l'ottimizzazione dei parametri abbia permesso di rimuovere alcuni difetti riscontrabili in alcuni campioni, dovuti principalmente a una non completa fusione delle particelle.

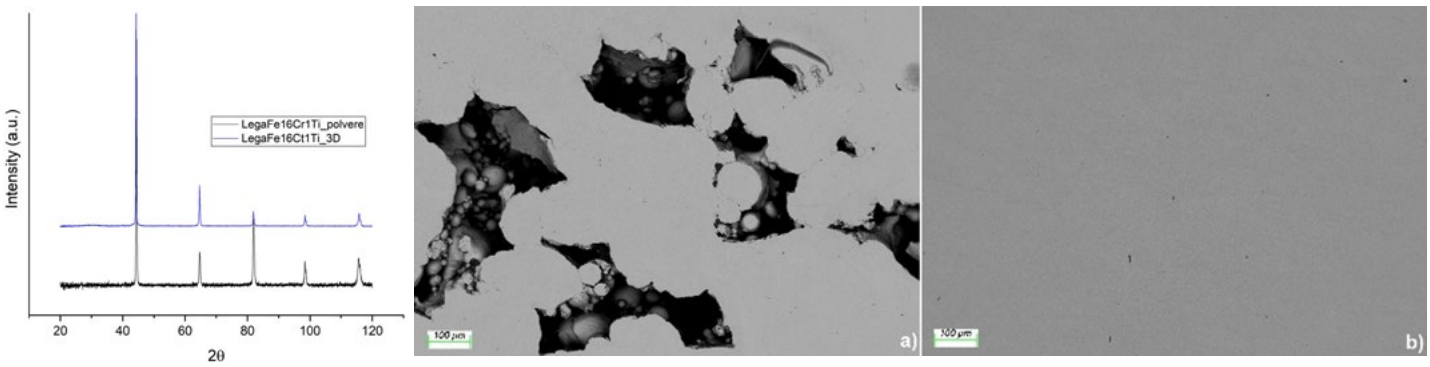

Fig.4 - Diffrattogrammi X relativi alla lega Fe16Cr1Ti in forma di polvere e stampato mediante LPBF. A destra immagini SEM dei campioni ottenuti mediante LPBF con parametri non ottimizzati (a) e con i parametri corretti (b) / *X-ray diffraction patterns of the Fe16Cr1Ti alloy in powder form and sintered using LPBF. On the right are SEM images of the samples produced using LPBF with non-optimized parameters (a) and with the correct parameters.*

L'ottimizzazione dei parametri ha visto una campagna di indagine effettuata anche con tecniche non distruttive, mediante ultrasuoni e CT. Queste tecniche hanno permesso di verificare, su campioni massivi, la presenza, in alcuni casi, di difetti, che possono essere trascurati mediante indagini microstrutturali effettuate mediante l'osservazione, al microscopio ottico o al SEM, di una singola sezione. Difetti analoghi sono stati osservati mediante CT in un campione cilindrico (figura 5). La densità misurata mediante le tecniche ultrasonore è pari a 99.6%, 99,32 e 86,63% per i campioni rispettivamente in figura 5 a), b) e c).

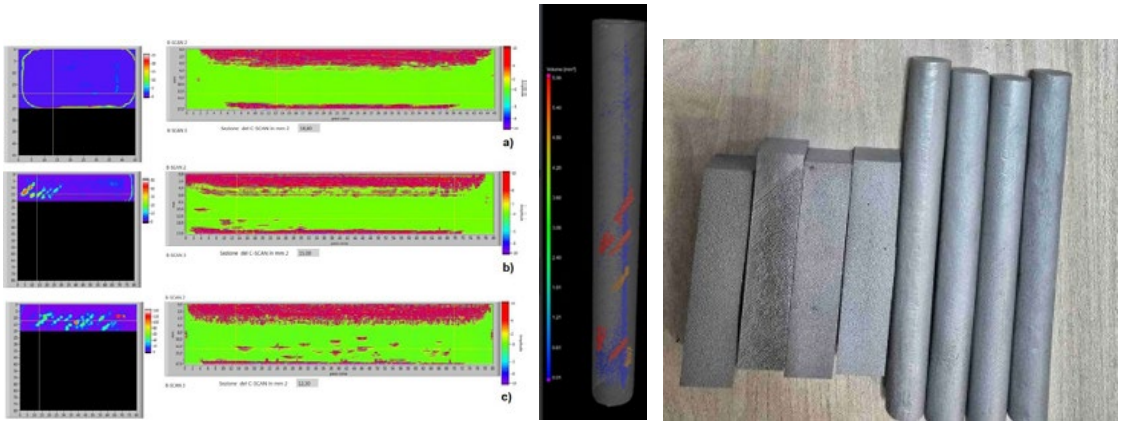

Fig.5 - A sinistra si riportano le ricostruzioni C-SCAN e B-SCAN per campioni con diversa concentrazione di difetti, a) privo di difetti, parametri di stampa corretti; b) difetti in alcune porzioni; c) difetti distribuiti nell'intero volume, parametri non ottimizzati. Al centro è riportata la ricostruzione CT di un campione cilindrico all'interno del quale sono stati individuati dei difetti. A destra i campioni oggetto delle indagini non distruttive / *On the left are the C-SCAN and B-SCAN reconstructions for samples with different defect concentrations: a) defect-free, with correct printing parameters; b) defects in some areas; c) defects distributed throughout the entire volume, with non-optimized parameters. In the center is the CT reconstruction of a cylindrical sample in which defects were identified. On the right are the samples subjected to non-destructive testing.*

In ultimo, è stata misurata, mediante metodo "Hot Disk" la conducibilità termica della lega Fe16Cr1Ti, stampata mediante LPBF, che è risultata pari a 25.5±0.5 W/mK, valore doppio rispetto a quella dell'acciaio AISI 316, usato come riferimento. Il valore è in linea con quello trovato per la lega Fe14.5Cr2.5Ti [12].

L'attività ha portato allo sviluppo, mediante un approccio di alloy design, e alla produzione di una nuova lega ferriti-

ca, resistente alla corrosione in ambiente corrosivo alcalino e con elevata conducibilità termica, e alla produzione, mediante tecnologie additive, in particolare laser a letto di polvere (LPBF), di campioni di dimensioni significative e privi di difetti. L'attività è propedeutica alla produzione di scambiatori di calore per utilizzo nelle macchine ad assorbimento a ciclo acqua/ammoniaca.

CONCLUSIONI

Le leghe ferritiche possono trovare applicazione nel settore dello scambio termico anche in ambiente corrosivo alcalino. È stata quindi progettata e prodotta in forma di polvere una lega ferritica Fe16Cr1Ti, per utilizzo in processi additivi laser a letto di polvere (Laser Powder Bed Fusion, LPBF), con l'obiettivo di realizzare scambiatori di calore per macchine ad assorbimento a ciclo acqua/ammoniaca. La lega è stata prodotta in forma di polvere, con particelle sferiche di dimensioni comprese tra 15 e 45 μm. La conducibilità termica, misurata su campioni ottenuti mediante LPBF, è risultata maggiore rispetto a una lega inox di riferimento. Le indagini condotte, sia mediante osservazioni microstrutturali su campioni in sezione sia mediante prove non distruttive, ultrasuoni e tomografia computerizzata, hanno permesso di ottimizzare i parametri di stampa della nuova lega ferritica, ottenendo campioni con un limitato numero di difetti. Il lavoro ha dimostrato quindi la possibilità di produrre una lega ferritica che può essere utilizzata in processi LPBF aprendo la strada alla realizzazione, mediante AM, di scambiatori di calore in un singolo blocco per applicazioni in ambiente alcalino corrosivo. L'attività prevede in futuro uno studio della corrosione dei campioni realizzati mediante LPBF in lega Fe16Cr1Ti, mediante test elettrochimici, superficiali e di Slow Strain Rate Test (SSRT).

RINGRAZIAMENTI

La presente attività è stata finanziata nell'ambito dell'Accordo di Programma MASE-ENEA - Ricerca di Sistema Elettrico - Progetto 1.4 "Materiali e dispositivi di frontiera per applicazioni energetiche" (AdP MASE-ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2025-2027). CUP: I53C24003320001

BIBLIOGRAFIA

[1] Report RdS/2011/PR_3.4/1 Corallo G., Franchi A., "Realizzazione di un prototipo reversibile di macchina ad assorbimento da 18 Kw con alimentazione ad acqua calda da adibire al solar cooling and heating e prove sperimentali preliminari", 22/09/2011.

[2] Lazzarin R.M., Gasparella A., Longo G.A., "Ammonia-water absorption machines for refrigeration: theoretical and real performances", Int. J. Refrig., 19 (4) (1996), pp. 239-246.

[3] Bonneau V.; Yi H.; Probst L.; Pedersen B.; Lonkeu O.K., The Disruptive Nature of 3D Printing, European Commission: Brussels, Belgium, 2017.

[4] Kelbassa I., Wohlers T., Caffrey T., "Quo vadis, laser additive manufacturing?", Journal of laser applications 24(5):050101, 2012. https://doi.org/10.2351/1.4745081

[5] Yoon H., Lee J., Kim H. et al., "A comparison of energy consumption in bulk forming, subtractive, and additive processes: Review and case study", Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.- Green Tech, 1, 261–279 (2014).

[6] Simons M., "Additive manufacturing—a revolution in progress? Insights from a multiple case study", Int. J. Adv. Manuf. Technol. 96, 735–749 (2018).

[7] Gutowski T. et al., "Note on the Rate and Energy Efficiency Limits for Additive Manufacturing", Journal of Industrial Ecology, 21 (2017) S69-79

[8] Arrizubieta J.I., Ukar O., Ostolaza M., Mugica A., "Study of the Environmental Implications of Using Metal Powder in Additive Manufacturing and Its Handling", Metals 2020, 10, 261.

[9] https://3dmetal.it/

[10] Andersson J.O., Helander T., Höglund L., Shi P.F., Sundman B., "Thermo-Calc and DICTRA, Computational tools for materials science", Calphad, 26, 273-312 (2002).

[11] Mirabile Gattia D., Pilloni L., Corallo G., Lega metallica per additive manufacturing per applicazioni nel campo dello scambio termico: realizzazione campioni e testing (LA 3.6), Report RdS/PTR2021/227.

[12] Mirabile Gattia D., Pilloni L., Corallo G., "Alloy Design for AM: A Ferritic Alloy for Applications in Corrosive Alkaline Environment", Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, Vol.964, pp 163-167, doi:10.4028/p-NQPrd8

Additive manufacturing of a ferritic alloy for heat exchange applications in an alkaline corrosive environment

Absorption machines, such as those operating on the water-ammonia cycle, are used in refrigeration and air-conditioning systems; they can be coupled with renewable energy generation plants to create sustainable solutions that support decarbonization goals. Heat exchangers are critical components for the operation of these machines. In this context, the present study focused on developing a new ferritic alloy using an alloy design approach—supported by thermodynamic simulation software, with the aim of reducing the use of critical or strategic raw materials. The alloy is expected to exhibit higher thermal conductivity than the reference stainless steel (AISI 316) and good corrosion resistance in alkaline environments, such as water-ammonia solutions. The research explored the properties of a new alloy, currently not commercially available, processed via additive manufacturing, with the goal of producing heat exchangers featuring complex internal geometries as single-piece units.

KEYWORDS: FERRITIC ALLOY; ADDITIVE MANUFACTURING; HEAT EXCHANGE; MICROSTRUCTURE.

TORNA ALL'INDICE >