

La strada verso la qualificazione delle tecnologie di manifattura additiva nel campo della corrosione: un caso studio della lega 625

S. Lorenzi, M. Cabrini, A. Carrozza, T. Persico, T. Pastore

Le tecnologie di manifattura additiva (additive manufacturing - AM) stanno costantemente guadagnando popolarità in diversi settori industriali strategici come quelli dell'Oil&Gas, aerospaziale e chimico. Questa famiglia di tecnologie, alcune con principi molto diversi tra loro, genera componenti caratterizzati talvolta da microstrutture non in equilibrio termodinamico capaci di conferire al materiale proprietà uniche. Tuttavia, risulta sempre più forte l'esigenza di approfondire la relazione tra la microstruttura e le proprietà dei materiali, non solo dal punto di vista meccanico ma anche rispetto alla corrosione che, in settori fortemente normati come l'Oil&Gas, è forse l'elemento più rilevante. Questo lavoro affronta lo studio del comportamento a corrosione di una superlega di nichel, nota come lega 625, al fine di definire la relazione tra la tecnologia produttiva e il comportamento in ambiente aggressivo. Tutte le valutazioni effettuate hanno permesso di stabilire una connessione tra le diverse tecnologie AM adottate, la microstruttura e il comportamento a corrosione del materiale. Il lavoro pone le basi per ulteriori studi, volti a stabilire quale tecnologia AM possa essere più adatta per applicazioni specifiche.

PAROLE CHIAVE: MANIFATTURA ADDITIVA, CORROSIONE, SUPERLEGA DI NICHEL, MICROSTRUTTURA

INTRODUZIONE

La lega 625 (UNS N06625), nota comunemente come Inconel 625, è una superlega di nichel molto diffusa in settori industriali come l'aerospaziale, Oil&Gas, chimico e nucleare. I punti di forza di questa lega sono ottime caratteristiche meccaniche, saldabilità, buona resistenza al creep e ottima resistenza a corrosione [1], [2]. Gli alliganti principali sono Cr, Mo e Nb che aumentano la resistenza a corrosione per pitting e crevice in ambienti ossidanti e con cloruri, aumentando il pitting resistance equivalent number (PREN) [3]. Inoltre, il niobio contrasta l'effetto deleterio dei precipitati di Mo e Cr a bordo grano sulla resistenza a corrosione intergranulare [4]. Solitamente questa lega viene prodotta con lavorazioni tradizionali, che portano a un'eccessiva usura dell'utensile e ad elevati tassi di asportazione di materiale. Inoltre, la complessità della forma da ottenere grava sull'efficienza dell'uso del materiale e sul costo del pezzo prodotto [5], [6].

Le tecnologie di Additive Manufacturing (AM) non presentano queste limitazioni, poiché si raggiungono elevate efficienze di utilizzo di materiale e non si hanno utensili che lavorano meccanicamente il materiale [7], [8]. Le tec-

S. Lorenzi, M. Cabrini, A. Carrozza,
T. Persico, T. Pastore

Università degli studi di Bergamo

...nologie AM
...ttilizzando
...stampa con
...un manufat
...duzione ad
...la tipologia
...assenza di
...tecnologie
...le è sicura
...prevede la
...lica grazie a
...tecnologia
...mico di rat
...struttura a
...caratteristic

Analisi metallografica

Tutti i campioni sono stati preparati metallograficamente utilizzando carte al carburo di silicio con una grana progressivamente più fine, la fase di lucidatura è stata completata utilizzando un lubrificante a base d'acqua e una pasta diamantata da 1 μm . I campioni sono stati osservati tramite microscopio ottico Keyence VHX-7100 e un microscopio elettronico a scansione Zeiss EVO 50. Per lo studio della microstruttura è stato utilizzato il reagente Kalling No.2.

Studio del comportamento a corrosione intergranulare

La suscettibilità alla corrosione selettiva intergranulare è stata valutata immergendo i provini in una soluzione bollente di solfato ferrico in acido solforico al 50% per 120 ore, in linea con la normativa ASTM G28-A. I campioni sono stati preparati lucidando ogni superficie con delle carte abrasive di SiC fino a una grana di 1200 grit. Inoltre, per le osservazioni al microscopio, due superfici ortogonali dei provini cubici sono state lucidate fino alla pasta diamantata da 1 μm . Per i campioni cilindrici è stata lucidata una base. Prima dell'immersione, i provini sono stati risciacquati con ac-

qua, puliti in un bagno ad ultrasuoni di acetone, asciugati e pesati, utilizzando una bilancia analitica.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Analisi metallografica

I provini prodotti con LPBF mostrano una tipica microstruttura a pozza fusa con dei grani colonnari sviluppati lungo la direzione di crescita. Le osservazioni al SEM hanno evidenziato una microstruttura dendritica cellulare con segregazioni di Nb e Mo nelle zone interdendritiche. La lega 625 ottenuta grazie DED presenta una microstruttura composta da ampie regioni dendritiche dove sono presenti dei precipitati ricchi di Mo nelle regioni interdendritiche. Le microstrutture osservate per i provini prodotti tramite LPBF e DED, visibili in Fig. 1 A-B, sono coerenti con la letteratura [18], [19]. I campioni prodotti tramite MEX presentano una microstruttura a grani equiassici ricca di precipitati visibile in Fig. 1 C. La barra laminata a caldo ha la microstruttura caratterizzata da grani equiassici di Ni con geminati visibile in Fig. 1 D.



Fig.1 - Microstrutture al microscopio ottico dei provini prodotti con LPBF(A), DED(B), MEX(C) e HW(D) / Optical microscope microstructures of specimens processed by LPBF(A), DED(B), MEX(C) and HW(D)

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Karmuhilan and S. Kumanan, "A Review on Additive Manufacturing Processes of Inconel 625," *J Mater Eng Perform*, vol. 31, no. 4, pp. 2583–2592, Apr. 2022, doi: 10.1007/S11665-021-06427-3/TABLES/5.
- [2] V. Shankar, K. Bhanu Sankara Rao, and S. L. Mannan, "Microstructure and mechanical properties of Inconel 625 superalloy," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 288, no. 2–3, pp. 222–232, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0022-3115(00)00723-6.
- [3] E. L. Hibner, "CORROSION/86," *NACE International*, vol. paper no. 181, 1986.
- [4] G.D. E. NC. Smith, "The effect of niobium on the corrosion resistance of nickel-base alloys," *Proc Int Symp Niobium High Temp Appl*, 2004.
- [5] Y. L. Hu, X. Lin, X. B. Yu, J. J. Xu, M. Lei, and W. D. Hu2]

[16] Y. The
manu
[17] A. C
Defec
MATI
[17] F. Car
Metal
[18] Z. Tia
10, no
[19] M. Re
prop
[20] G. Ma
laser
[21] J. R. P
625 w
[22] H. We
Trials
doi: 1
[23] A. Sc
fabric
[24] G. V.
2022

of

Additive m
such as Oil
principles,
properties
microstruc
viour that i
study of the
logy and th
AM techno
for more st

KEYWORDS: ADDITIVE MANUFACTURING, CORROSION, NICKEL SUPERALLOY, MICROSTRUCTURE

[TORNA ALL'INDICE >](#)