



Misure di tenacità di leghe intermetalliche Ti-Al-Cr-Nb-Mo

A. Brotzu, F. Felli, D. Pilone

Dipartimento ICMA, Sapienza Università di Roma, Via Eudossiana 18, 00184 Roma
ferdinando.felli@uniroma1.it

SOMMARIO. In questo lavoro sono stati prodotti alcuni provini CT (Compact Tension) in lega intermetallica Ti-Al-Cr-Nb-Mo direttamente per getto e ne è stata determinata la tenacità a frattura (KIC). I risultati sono stati confrontati con quelli di alcune leghe simili disponibili in letteratura.

PAROLE CHIAVE. Intermetallici; Leghe Al-Ti; Tenacità.

INTRODUZIONE

Gli intermetallici γ TiAl risultano avere un elevato potenziale per applicazioni alle alte temperature in quanto uniscono proprietà di leggerezza ad eccellenti proprietà meccaniche ad elevata temperatura [1-3]. Il loro utilizzo tuttavia è ostacolato da una bassa duttilità a temperatura ambiente, da una bassa tenacità a frattura e da una scarsa lavorabilità a caldo. Nel corso degli anni sono stati fatti innumerevoli tentativi per migliorare tali proprietà quali selezione ed aggiunta di particolari alliganti [4,5], trattamenti termici [4] e termomeccanici [6,7].

Più di recente sono state sviluppate leghe TiAl contenenti la fase β che sembrano avere una buona deformabilità a caldo. Tale fase beta è ottenuta all'interno delle leghe TiAl mediante l'aggiunta di elementi stabilizzanti quali W, Mo [6,8], Cr, Mn [6,9], V e Nb [10]. Tale fase, avente una struttura ccc disordinata, a temperature elevate è meno dura delle fasi α e γ : proprio questo facilita il trattamento termomeccanico delle leghe TiAl [9, 11]. Nonostante ciò tuttavia il gran numero di ricerche condotte in questo campo ha evidenziato che sia la presenza di particelle grossolane di fase β sia l'eccessiva quantità di tale fase peggiorano tanto la resistenza al creep quanto la duttilità del materiale a temperatura ambiente [12,13,14]. Studi successivi hanno mostrato come un trattamento termico di invecchiamento condotto a 950 °C per 48 ore su leghe Ti-45Al- 2Nb-1.5V-1Mo-0.5Y abbia determinato un incremento della tenacità a frattura grazie alla precipitazione lungo i bordi dei grani di particelle di fase β e γ che ostacolano in maniera efficace il movimento delle dislocazioni [15]. Tali leghe sono prodotte in genere per getto o metallurgia delle polveri [16]. La determinazione della tenacità a frattura richiede la realizzazione di diverse tipologie di provini mediante lavorazioni meccaniche. Le leghe intermetalliche tuttavia poco si prestano ad essere lavorate per asportazione di truciolo. Si è quindi pensato di realizzare direttamente per getto i provini per i test di tenacità in modo da valutarne la funzionalità.

In questo lavoro preliminare sono stati realizzati provini tipo CT. I risultati sono stati confrontati con alcuni dati reperibili in letteratura [15]. In questa prima fase non sono stati effettuati trattamenti termici o termomeccanici sui provini, infatti, si vuole valutare la loro tenacità dopo la sola colata. Test successivi su provini trattati potranno permettere una valutazione dell'efficacia dei trattamenti effettuati.

MATERIALI E TECNICHE

Una lega avente composizione Ti-37.7Al-3.5Cr-0.5Nb-1.5Mo (at. %) è stata prodotta utilizzando un forno centrifugo ad induzione. La lega è stata preparata a partire da Ti, Al, Cr, Nb, Mo puri, mentre il B è stato introdotto in lega sotto forma di lega madre TiBAl. Composizione e struttura della lega ottenuta sono state

studiate mediante microscopio elettronico a scansione (SEM) dotato di analisi a dispersione di energia (EDS). Prima dell'osservazione i campioni lucidati sono stati attaccati utilizzando il reattivo di Keller.

Le prove di tenacità a frattura sono state condotte utilizzando dei provini CT (Compact Tension). Vista la difficoltà di effettuare lavorazioni meccaniche sulle leghe intermetalliche caratterizzate da elevata durezza e fragilità, tali provini sono stati ottenuti direttamente per colata utilizzando una forma dotata di anime ed opportunamente sagomata. Sono stati prodotti per queste prime prove preliminari prove 4 provini aventi la medesima composizione e con le seguenti dimensioni: $W= 25.65$ mm, $B= 9.7$ mm. Su ciascun provino è stato generato un intaglio ed una cricca di dimensioni $a= 12.25$ mm. Il test meccanico per la determinazione del K_{IC} è stato effettuato secondo la norma ASTM E 399 ed è stato condotto utilizzando una macchina Instron 3367 con una velocità della traversa pari a 0.5 mm/min. Il carico di rottura P_{max} è stato calcolato direttamente dalle curve carico-spostamento.

Su ciascun provino prodotto sono state inoltre effettuate delle prove di durezza Vickers mediante durometro Wolpert.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Su alcuni lingotti prodotti mediante colata centrifuga sono state effettuate analisi mediante microscopia ottica ed elettronica SEM/EDS allo scopo di valutarne composizione e struttura. Le analisi hanno rivelato che i diversi getti hanno una composizione molto simile e caratterizzata anche dalla presenza di alcune microporosità da ritiro. Sono state individuate due diverse tipologie di struttura metallografica (Fig.1). In particolare una è caratterizzata da grani di lamelle alternate α_2/γ . La seconda presenta oltre a grani caratterizzati da una marcata struttura lamellare anche grani costituiti dalla sola fase α_2 nonché la presenza di una fase che appare chiara nell'immagine ottenuta con gli elettroni retrodiffusi (Fig. 2) e che l'analisi EDS (Fig. 3) ha rivelato essere una fase più ricca in cromo e molibdeno (composizione %at. 33 Al, 58 Ti, 4.8 Cr, 3.6 Mo, 0.6 Nb), probabilmente β .

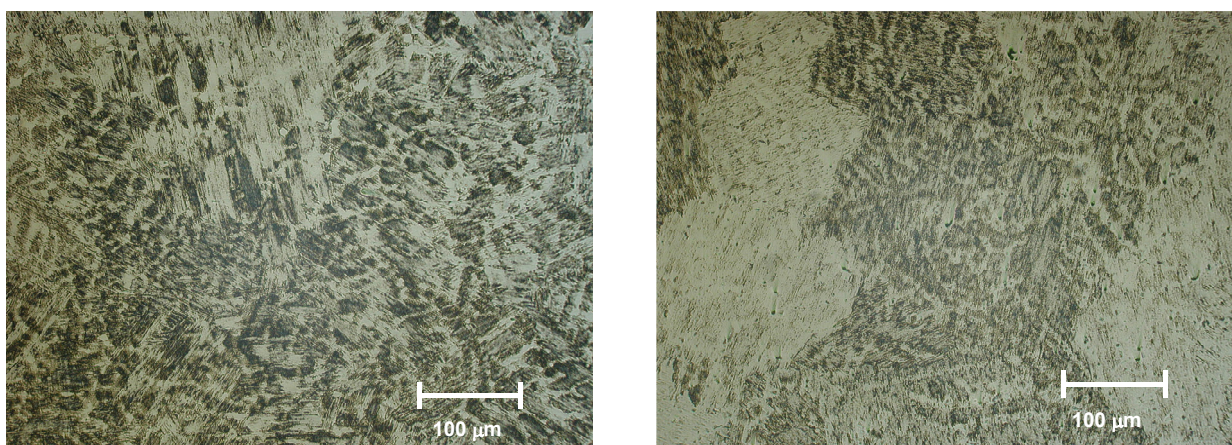


Figura 1: Micrografie ottiche che mostrano la struttura delle due tipologie di lega ottenute.

In questo lavoro preliminare sono stati realizzati provini tipo CT direttamente per getto in quanto, come già detto, le leghe in esame presentano caratteristiche di elevata durezza che li rende difficilmente lavorabili e 3 sono stati utilizzati per i test di tenacità (Fig. 4a). Dei tre provini testati due si sono rotti correttamente (Fig. 4b), mentre il terzo ha ceduto lateralmente come mostrato in Fig. 4d seguendo una cricca già generata in fase di colata. In Fig. 4c sono mostrate le macrografie delle superfici di frattura. Utilizzando i dati ottenuti dalle curve carico-spostamento mostrate in Fig. 5 e riportati in Tab. 1 si è trovato per il P_{max} un valore di 2822 N per il campione 1 e 2888 N per il campione 2 a cui corrispondono valori di K_{IC} di 16.3 $MPam^{1/2}$ e di 17.6 $MPam^{1/2}$ rispettivamente. Questi dati, abbastanza vicini e confrontabili, mostrano una discreta attendibilità della metodologia impiegata. Tali valori sono anche confrontabili con quelli riportati in letteratura [15] per una lega simile (18 e 23.5 $MPam^{1/2}$) e che sono stati ottenuti con provini fratturati a flessione. Nei test di letteratura i provini realizzati per getto erano stati trattati termomeccanicamente mediante pressatura isostatica a 1250 °C per 4 ore a 175 MPa ed invecchiati a 950 °C per 48 per eliminare porosità e tensioni residue. Il fatto che i valori da noi trovati siano vicini a questi può creare qualche dubbio sull'efficacia dei trattamenti post-colata sopra descritti.

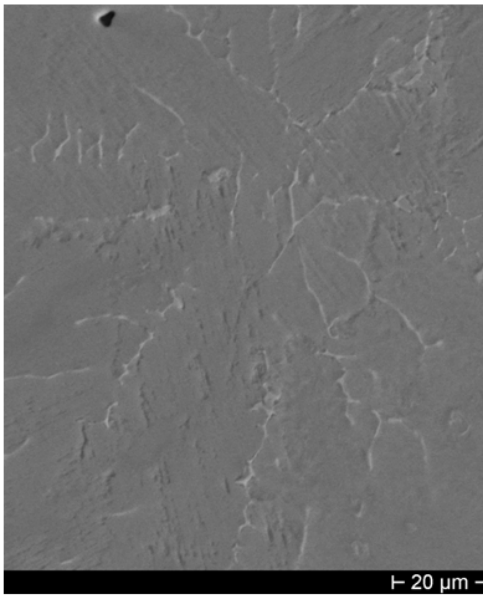


Figura 2: Micrografia SEM ad elettroni retrodiffusi (fase chiara ricca in Cr e Mo).

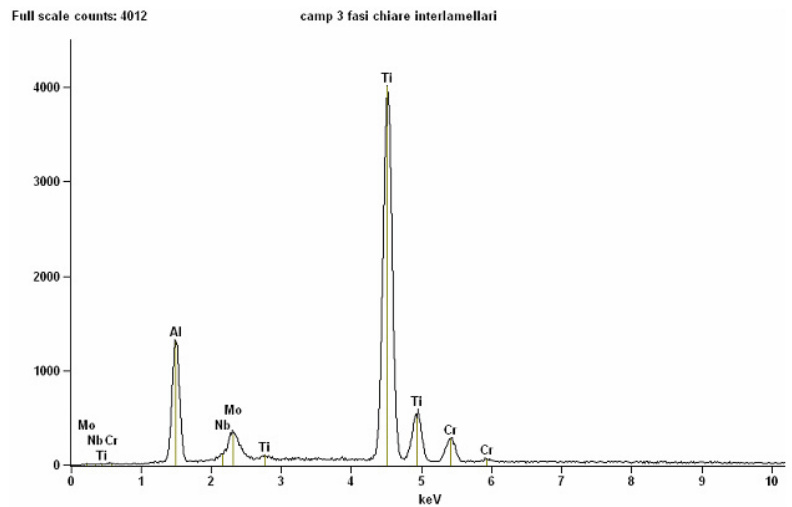


Figura 3: Spettro EDS della fase chiara riportata in Fig. 2.

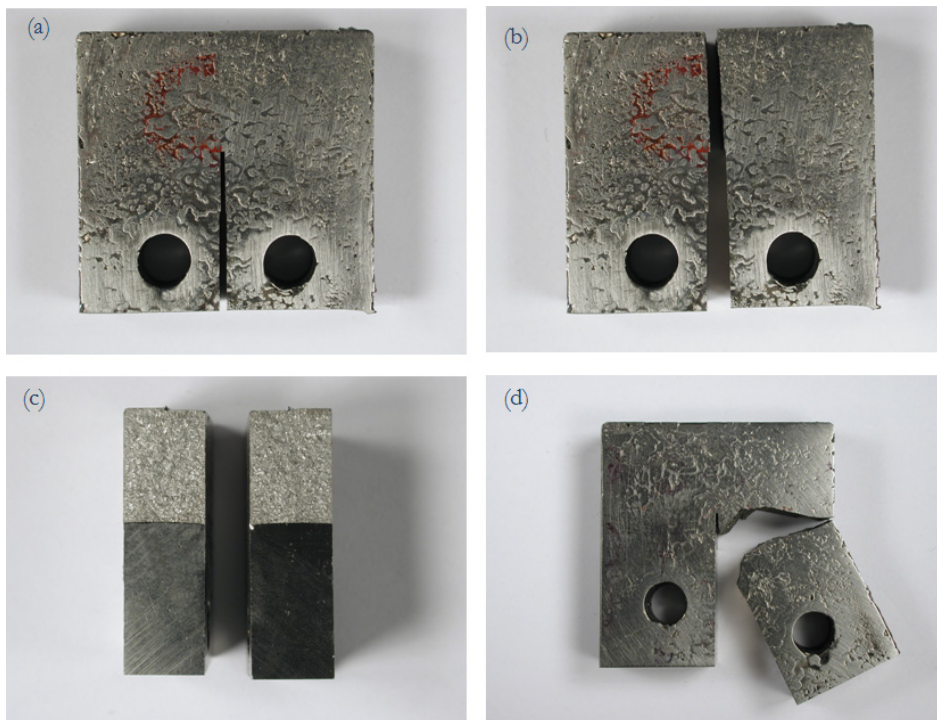


Figura 4: Provini CT utilizzati nei test di tenacità. a) provino prima del test, b) provino dopo il test, c) macrografia delle superfici di frattura, d) provino con frattura laterale.

In ogni modo si evince che i valori da noi trovati sono realistici e rafforzano l'attendibilità della metodologia usata anche se andrà verificata con una statistica maggiore. Nella Tab. 1 sono riportati anche i valori della durezza HV ritrovati.

L'aspetto della superficie di frattura è evidenziato nelle micrografie SEM di Fig. 6 e 7. Come si nota da entrambe le micrografie presentate la frattura propaga per via transgranulare. In Fig. 6 si nota la caratteristica morfologia lamellare delle zone bifasiche α_2/γ ; mentre nella Fig. 7 (zona monofasica α_2) si nota un classica rottura per clivaggio.

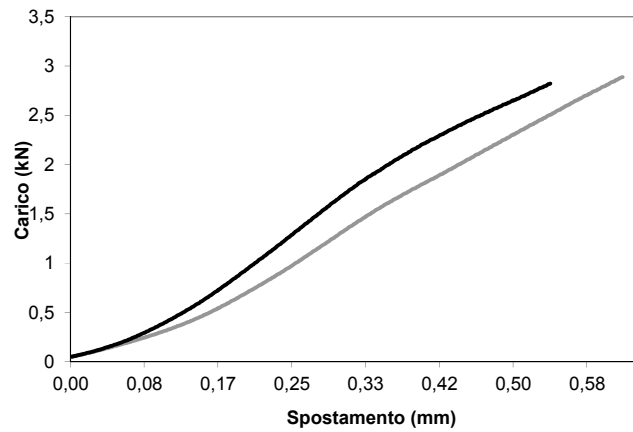


Figura 5: Curve Carico vs. Spostamento ottenute durante i test di tenacità.

	P_{max} (N)	K_{IC} (MPa $m^{1/2}$)	HV
Campione 1	2822	16.3	485
Campione 2	2888	17.6	510

Tabella 1: Caratteristiche meccaniche della lega.

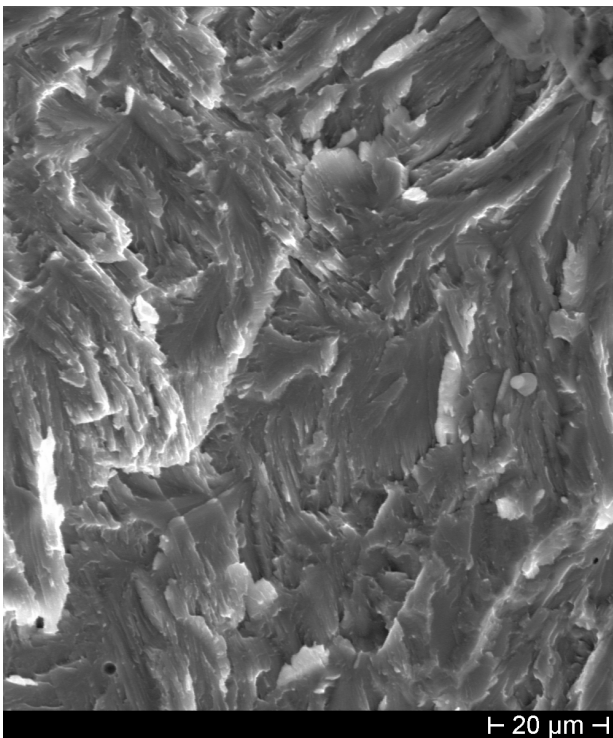


Figura 6: Morfologia della superficie di frattura (zone bifasica α_2/γ).

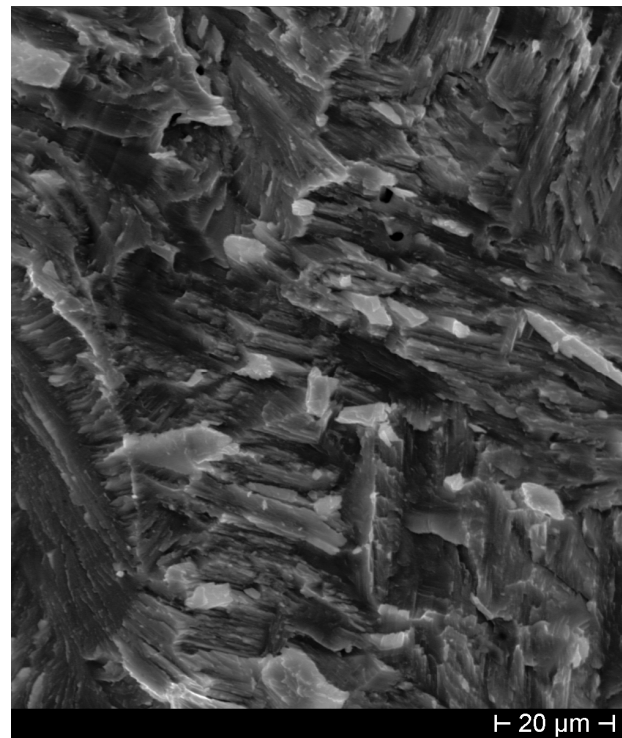


Fig. 7: Morfologia della superficie di frattura (zone monofasica α_2).

CONCLUSIONI

Test preliminari di tenacità a frattura (determinazione del K_{IC}) su provini CT in lega intermetallica Al-Ti prodotti direttamente per getto hanno dato risultati realistici mostrando una discreta attendibilità della metodologia applicata.



Da un confronto con i risultati riportati in bibliografia e ottenuti su provini compattati e trattati si evince che in alcuni casi i valori di K_{IC} sono abbastanza simili. Ciò genera alcune perplessità sull'efficacia dei trattamenti effettuati.

Questo lavoro preliminare pone le basi per una verifica dell'efficacia dell'alligazione e dei trattamenti termomeccanici in termini di incremento della tenacità di questi materiali.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E.A. Loria, *Intermetallics*, 8 (2000) 1339.
- [2] X.H. Wu, *Intermetallics*, 14 (2006) 1114-22.
- [3] M. Yamaguchi, H. Inui, K. Ito, *Acta Materialia*, 48 (2000) 307.
- [4] M.H. Loretto, A.B. Godfrey, D. Hu et al., *Intermetallics*, 6 (1998) 663.
- [5] S.L. Kampe, P.Sadler, L. Christodoulou, *Metallurgical and Materials Transaction A*, 25 (1994) 2181.
- [6] S. Shih Donald, Y.W. Kim, In: *Ti2007 science and Engineering*, Kyoto, Japan, The Japan Institute of Metals, (2007) 1021.
- [7] A. Bartels, H. Kestler, H. Klemens, *Materials Science and Engineering A*, 329-331 (2002) 153.
- [8] J. Beddoes, W.R. Chen, *Journal of Material Science*, 37 (2002) 621.
- [9] T. Tetsui, K. Shindo et al., *Intermetallics*, 13 (2005) 971.
- [10] G.L. Chen, W.J. Zhang et al., In: *Gamma titanium aluminides*. Y.W. Kim, D.M. Dimiduk, M.H. Loretto, editors. Warrendale, USA: TMS, (1999), 371.
- [11] H. Clemens, W. Wallgram, S. Kremmer, *Advanced Engineering Materials*, 10 (2008) 707.
- [12] J.G Wang, T.G. Nieh, *Intermetallics*, 8 (2000) 737.
- [13] A.M. Hodge, L.M. Hsiung, T.G. Nieh, *Scripta Materialia*, 51 (2004) 411.
- [14] D.Y. Seo, J. Beddoes et al., *Material Science and Engineering A*, 329-331 (2002) 810.
- [15] Y. Chen, H. Niu et al., *Intermetallics*, 19 (2011) 1405.
- [16] D.J. Kim, D.Y. Seo, H.Saari, T. Sawatzky, Y.W. Kim, *Intermetallics*, 19 (2011) 1509.