

Composito in fibra di vetro con inserti di CuZnAl a memoria di forma per applicazioni ad alto smorzamento

C. A. Biffi, P. Bassani, A. Tuissi, M. Carnevale, N. Lecis, A. Lo Conte, B. Previtali

In questo lavoro è proposta la realizzazione e caratterizzazione di un materiale composito, in cui la leggerezza della struttura in fibra di vetro viene combinata alla capacità di smorzamento di inserti in lega a memoria di forma (SMA) a base rame, per la riduzione delle vibrazioni in sistemi meccanici. Gli inserti in SMA sono costituiti da due sottili lamine di CuZnAl, tagliate mediante tecnologia laser secondo una geometria ottimizzata per migliorare l'adesione tra l'elemento metallico e la fibra di vetro. Lo studio proposto valuta dapprima l'effetto della lavorazione laser sulla trasformazione martensitica e sulle proprietà di smorzamento del materiale SMA e successivamente propone misure di smorzamento di vibrazioni flessionali sul composito realizzato, e su campioni analoghi privi dell'elemento SMA. Dall'analisi di queste ultime prove è possibile concludere che l'introduzione della lega a memoria di forma consente di migliorare le capacità di smorzamento del materiale composito, per l'utilizzo in sistemi meccanici.

Parole chiave:

Rame e leghe, lega a memoria di forma, materiali compositi, micro taglio laser.

INTRODUZIONE

In questo lavoro si propone lo studio di un materiale composito, costituito da una matrice di strati di fibra di vetro e da lamine sottili di una lega di CuZnAl a memoria di forma (SMA), per applicazioni in cui sia richiesto lo smorzamento di vibrazioni meccaniche. Tale materiale composito consente di combinare differenti proprietà, grazie alla compartecipazione di materiali differenti: la leggerezza della fibra di vetro, la resistenza meccanica dell'inserto di materiale metallico e le rilevanti proprietà di smorzamento dello SMA, in fase martensitica per la temperatura di esercizio del componente meccanico[1]. La scelta delle leghe SMA a base Cu, confrontate con i sistemi SMA più conosciuti a base NiTi [2,3], è legata alle elevate caratteristiche di internal friction [4] che tali leghe possiedono, unite ad un costo di produzione sensibilmente minore. L'introduzione di lamine metalliche all'interno della fibra di vetro può, tuttavia, produrre effetti di discontinuità importanti durante la messa in esercizio del materiale composito in uno stato di sollecitazione prevalentemente flessionale. Per evitare tale effetto, per migliorare l'adesione superficiale tra le lamine SMA e la matrice di fibra di vetro e per ridurre fenomeni di de-laminazione durante l'esercizio del componente, è stata valutata con ottimi risultati la possibilità di sagomare opportunamente le lamine (vedi la striscia grigia nello schema di Figura 1). La geometria con cui è stato deciso di sagomare le lamine di SMA ha dovuto anche tenere conto della necessità di massimizzare il trasferimento di energia meccanica all'elemento SMA per sfruttare la sua capa-

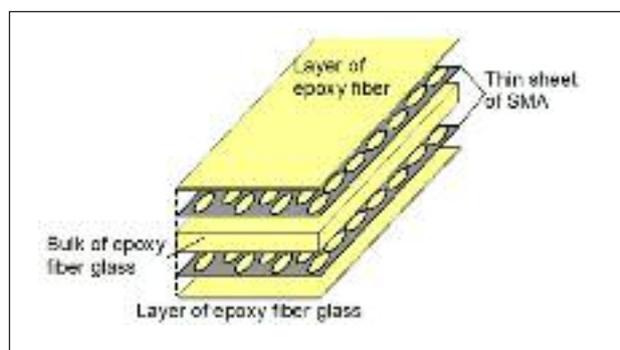


FIG. 1 Schema della struttura del materiale composito con delle lamine di SMA.

Main structure of the composite material with embedded SMA thin sheets.

rità di smorzare le vibrazioni. Utilizzando la tecnologia laser è stato possibile eseguire in modo versatile il processo di taglio delle lamine secondo una geometria ottimizzata nella direzione di un compromesso tra proprietà di smorzamento ed adesione tra le lamine SMA e la fibra di vetro, come descritto precedentemente [5].

In Figura 1 è riportato lo schema del materiale composito in cui si possono identificare le due lamine di SMA inserite nella matrice di fibra di vetro in prossimità della superficie superiore ed inferiore del composito. In questo lavoro sono state prese in considerazione due differenti tipologie di geometria o pattern, entrambe caratterizzate da una geometria di tipo ellittica, con due differenti spaziature con lo scopo di valutare l'effetto della quantità di materiale presente, come riportato in Figura 2. Per semplicità, le due configurazioni saranno indicate dalle lettere A e B rispettivamente. La configurazione A è quella che prevede una maggior quantità di materiale compreso tra due ellissi adiacenti rispetto alla configurazione B.

Carlo Alberto Biffi, Paola Bassani, Ausonio Tuissi
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per l'Energetica e l'Interfasi, Unità di Lecco,
C.so Promessi Sposi 29, 23900, Lecco, Italy

Marco Carnevale, Nora Lecis,
Antonietta Lo Conte, Barbara Previtali
Politecnico di Milano, Mechanical Department,
Via La Masa 34, Milano, Italy

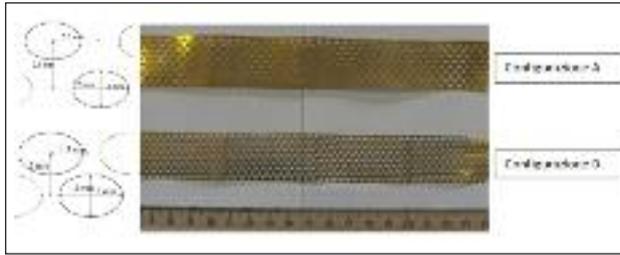


FIG. 2 *Lamine di CuZnAl dopo micro taglio laser. Two configurations of laser cut CuZnAl sheets.*

Potenza media	50 W
Durata impulsi	160 ns
Frequenza di ripetizione degli impulsi	80 kHz
Posizione del fuoco	Sulla superficie superiore
Diametro del fascio laser	23 μ m
Gas di assistenza	Argon
Pressione del gas di assistenza	5 bar
Distanza di lavoro	0.5 mm
Numero di passate	2

TAB. 1 *Principali parametri di processo utilizzati per il micro taglio laser delle lamine sottili di CuZnAl.*

Main process parameters, used in the microcutting process of CuZnAl thin sheets.

Il processo scelto per realizzare i pattern delle lamine di SMA è il taglio laser, che è un processo termico che, eseguito su un materiale estremamente sensibile alla temperatura come quello proposto, può modificarne la microstruttura e le proprietà sia calorimetriche che funzionali.

Si è quindi indagato l'effetto del processo di taglio laser sulle proprietà dello SMA con particolare enfasi sullo smorzamento specifico del materiale e su quello strutturale legato al materiale composito nella sua interezza. La descrizione dettagliata della procedura di produzione ed assemblaggio del materiale composito è stata proposta in un precedente lavoro [5].

L'obiettivo finale, dunque, di questo lavoro è stato quello di dimostrare come sia possibile incrementare le proprietà di smorzamento delle vibrazioni di un materiale leggero, come la fibra di vetro, grazie all'introduzione di lamine sottili di SMA, tagliate con geometrie opportune mediante tecnologia laser.

MATERIALI E PROCEDURE SPERIMENTALI

La lega SMA a base rame con composizione nominale $\text{Cu}_{66}\text{Zn}_{24}\text{Al}_{10}$ (at.%) è stata prodotta a partire dagli elementi puri, presso il laboratorio del CNR IENI di Lecco, utilizzando un forno ad induzione in atmosfera inerte. Successivamente, il lingotto [$100 \times 70 \times 10 \text{ mm}^3$] è stato laminato a caldo e a freddo fino ad uno spessore di 0.2 mm. Le lamine così ottenute sono state tagliate laser secondo la geometria richiesta e trattate termicamente a 750°C per 40 minuti con successivo raffreddamento in acqua (WQ) in modo da indurre nel materiale la trasformazione martensitica termoelastica.

Il processo di micro taglio laser è stato eseguito mediante una sorgente laser in fibra pulsata (modello YLP, IPG) con durata degli impulsi laser nell'ordine del centinaio di nanosecondi. I principali parametri di processo sono riportati in Tabella 1.

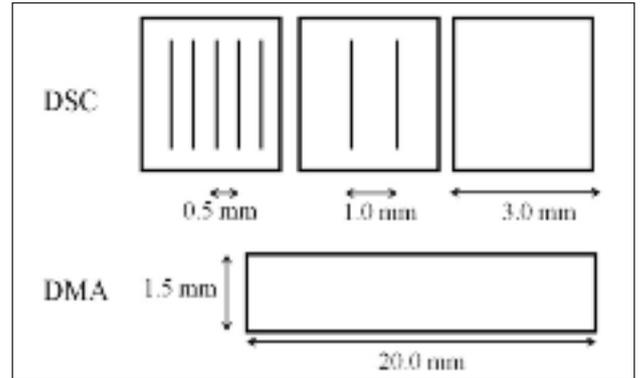


FIG. 3 *Geometria e dimensioni dei campioni per analisi DSC e DMA.*

Configurations of the samples, tested for DSC and DMA analysis.

Per la caratterizzazione del processo di taglio laser, il solco di taglio è stato osservato mediante microscopia elettronica a scansione (SEM), a causa delle sue ridotte dimensioni, in corrispondenza della superficie di ingresso, di uscita, e inoltre sulla sezione trasversale, sulla quale è stata effettuata la microanalisi con sonda EDS per valutare la variazione di composizione chimica di tale zona rispetto al materiale base.

Per la caratterizzazione calorimetrica e funzionale sono state eseguite rispettivamente misure DSC e DMA. In tal caso sono stati realizzati e testati campioni di ridotta dimensione, ma rappresentativi del materiale, come riportato in Figura 3. I campioni utilizzati per la caratterizzazione calorimetrica mediante DSC (modello Seiko 220C) hanno forma quadrata (3mm x 3mm). Ciascuno di tali campioni è stato tagliato laser lungo il profilo esterno; inoltre, alcuni di questi hanno subito 2 o 5 tagli interni per amplificare l'effetto del calore introdotto durante la lavorazione laser all'interno del materiale. I campioni hanno massa pari circa a 50 mg.

La caratterizzazione funzionale, effettuata mediante DMA (modello TA Instruments Q800), è stata eseguita su campioni di geometria rettangolare (1.5 mm x 20 mm), il cui profilo esterno è stato tagliato laser, in modo analogo a quanto fatto per il DSC. Le prove DMA sono state eseguite nella configurazione a trazione con un'ampiezza di deformazione imposta costante e pari a 0.05%, con una frequenza imposta di 10 Hz e con un ciclo termico imposto di velocità pari a $1^\circ\text{C}/\text{min}$ sia in riscaldamento che in raffreddamento.

L'indagine sperimentale sul materiale è stata completata da un'ulteriore caratterizzazione sulle proprietà di smorzamento specifico, proprio del materiale, sulla scala reale delle lamine di CuZnAl (200 mm x 20 mm) mediante sistema MTS provvisto di cella di carico da 10 kN. Tale passaggio è stato ritenuto fondamentale per la valutazione della capacità di smorzamento intrinseco del materiale su larga scala rispetto alle prove definite in precedenza mediante DMA, in cui solo una piccola porzione del materiale è stata testata. Sono stati quindi eseguiti test di trazione ciclica a temperatura ambiente (nello stato martensitico del materiale) con frequenza imposta pari a 0.05 Hz. Durante la misura si è considerato che le proprietà di smorzamento del materiale SMA non variano in modo significativo nell'intervallo delle basse frequenze [6]. In tale configurazione sono state eseguite 5 misure, controllando lo spostamento ciclico mediante un estensimetro con una lunghezza di base pari a 50 mm. L'intervallo delle ampiezze di de-

formazione è compreso tra $0.5 \cdot 10^{-4}$ e $0.5 \cdot 10^{-3}$ mentre il valor medio è fissato ad un livello costante e pari $1.2 \cdot 10^{-3}$. Per ogni ampiezza di deformazione il valore rappresentativo dello smorzamento specifico del materiale, indicato come $\tan \delta$, è stato calcolato come segue (vedi Eq (1)):

$$\tan \delta = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad \text{Eq. (1)}$$

dove ΔW indica l'energia dissipata in un ciclo di oscillazione per unità di volume e rappresenta quindi l'area sottesa dalla curva sforzo-deformazione in un ciclo completo di isteresi mentre W è l'energia massima immagazzinata in un ciclo di oscillazione per unità di volume.

Il passaggio conclusivo del lavoro è stato quello di valutare lo smorzamento strutturale del materiale composito, in cui le lamine SMA sono state introdotte. In tale caratterizzazione è stata misurata la capacità di smorzamento del composito (200 mm x 20 mm x 5mm), vincolato ad un'estremità, imponendo all'estremità libera uno spostamento iniziale (prova di decay). Le ampiezze di oscillazione misurate si riducono nel tempo in funzione dello smorzamento della barretta di composito[8]. La vibrazione viene misurata tramite un triangolatore laser e la conseguente risposta transitoria è acquisita con lo scopo di valutare sia la frequenza naturale del sistema che il conseguente smorzamento adimensionale del sistema, indicato come h , come riportato in Eq(2):

$$h = \frac{\delta}{2\pi} \quad \text{where} \quad \delta = \ln \left(\frac{x_n}{x_{n+1}} \right) \quad \text{Eq. (2)}$$

dove δ indica il coefficiente logaritmico di attenuazione mentre x è l'ampiezza dello spostamento in corrispondenza del n -esimo ed $n+1$ -esimo ciclo di oscillazione. Tale caratterizzazione conclusiva è stata effettuata su differenti configurazioni della barretta di materiale composito: (i) barretta con solo fibra di vetro, in assenza delle lamine di SMA; (ii) due barrette con all'interno una coppia di lamine di SMA, ciascuna barretta con una diversa configurazione della lamina (vedi Figura 2); (iii) barretta con all'interno una coppia di lamine di ottone commerciale nella configurazione A.

ANALISI DEI RISULTATI

In Figura 4 sono riportate le immagini SEM-SE del solco di taglio laser rispettivamente sul lato di ingresso e di uscita. Si nota come sia presente materiale fuso (bava), generato durante il micro taglio laser, che si è depositato prevalentemente sulla superficie di uscita ma, parzialmente, anche su quella di ingresso. Inoltre, sono presenti anche alcune gocce di materiale fuso, legate all'eiezione di materiale fuso, in un'area maggiore rispetto a quella interessata dalla bava. La larghezza del solco di taglio prodotto è molto ridotta e pari a circa $25 \mu\text{m}$. Questo indica come la tecnologia laser consenta di realizzare il taglio di particolari caratterizzati da dimensioni molto contenute e quindi di elevata precisione. Da Figura 4 si può osservare, inoltre, come il solco di taglio non sia del tutto regolare; questo aspetto è legato al fatto che tale materiale è caratterizzato da una notevole riflettività e questo porta a ridurre ed eventualmente rendere più instabile l'assorbimento da parte del materiale del fascio laser.

In Figura 5 viene mostrato l'ingrandimento della sezione trasversale in prossimità della zona di uscita del solco di taglio, in cui sono indicati i punti in cui si è effettuata la microanalisi con sonda EDS per valutare la composizione chimica puntuale. La posizione delle misure è stata scelta in modo tale da considerare: il materiale fuso (punti 1-2), il materiale prossimo al solco di taglio (punti 3-6) ed il materiale base (punto 7). Si osserva dalle misure riportate in Tabella 2 una significativa riduzione del tenore di zinco nel materiale fuso (punti 1-2). Questo aspetto può essere causato dal-

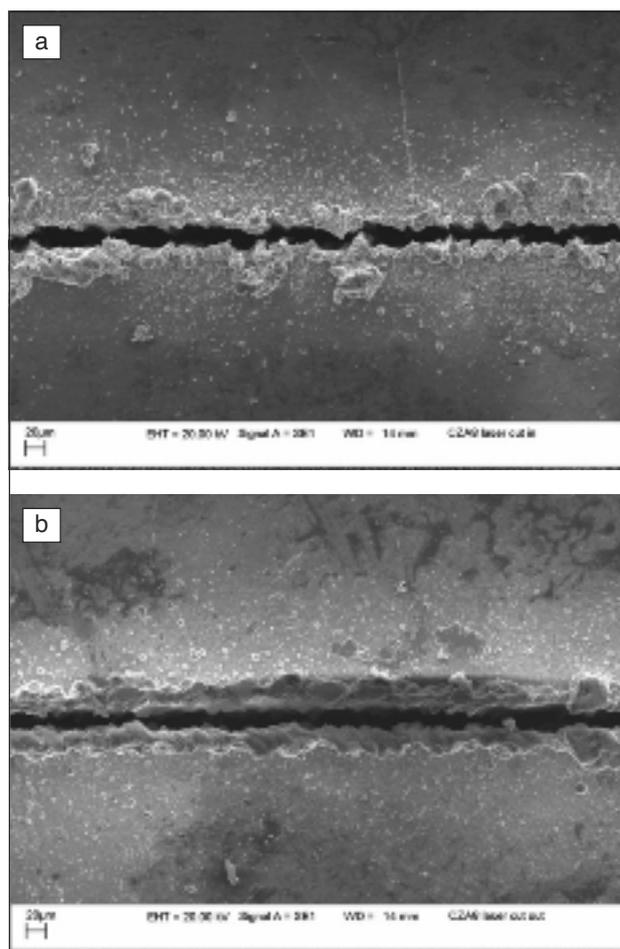


FIG. 4 Immagine SEM-SE dell'ingresso (a) e dell'uscita (b) del solco di taglio.

SEM-SE images of entrance (a) and exit (b) sides of the laser cut edge.

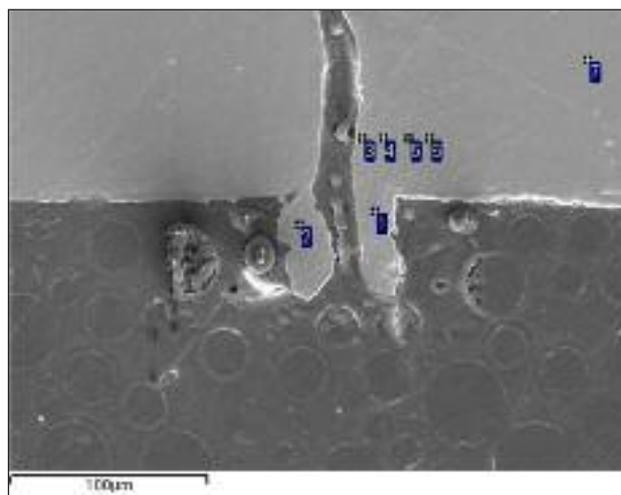


FIG. 5 Ingrandimento della zona di uscita lungo la sezione trasversale del solco di taglio con l'indicazione dei punti in cui la misura EDS è stata eseguita.

Magnification of the exit surface along the transversal section of the laser cut edge; indication of the punctual EDS microanalysis.

Punto	Al [%at]	Cu [%at]	Zn [%at]
1	11,76	73,15	15,09
2	10,1	72,28	17,63
3	8,82	65,84	25,34
4	9,98	66,16	23,86
5	10,1	65,64	24,26
6	11,25	64,7	24,05
7	10,15	65,69	24,16

TAB. 2 Misure EDS della composizione chimica nei punti indicati in Figura 5 prossimità nella zona di uscita del solco di taglio.

Results of EDS microanalysis in proximity of the laser cut edge (see Figure 5).

l'elevata pressione di vapore dello zinco rispetto a quella degli altri elementi di lega (rame ed alluminio). La variazione percentuale degli altri elementi di lega è invece diretta conseguenza della variazione del contenuto di zinco. Il materiale in prossimità al solco di taglio (punti 3-6) non mostra invece significative variazioni della composizione chimica. In letteratura si trovano studi condotti su materiali metallici lavorati mediante tecnologia laser, in cui è riportata la presenza di una zona termicamente alterata dell'ordine di decine di micron [7], ma nel nostro caso non è stato possibile osservarla direttamente.

Le misure calorimetriche mediante DSC sono state eseguite sui campioni definiti in Figura 3. La Figura 6 mostra le scansioni DSC in temperatura per i tre campioni presi in esame. Si può osservare come tutti i campioni mostrino la presenza di picchi di trasformazione diretta (in raffreddamento) ed inversa (in riscaldamento) associati alla trasformazione martensitica, che si spostano verso temperature più alte all'aumentare del numero di tagli presenti nel campione. Non solo le temperature caratteristiche di trasformazione, ma anche la forma dei picchi di trasformazione risultano sensibili alla quantità di calore introdotta dalla lavorazione laser: a seguito del processo di micro taglio laser (campioni con tagli interni) i picchi di trasformazione appaiono multipli ed allargati. Ciò potrebbe essere legato alla generazione di più fasi a seguito del ciclo termico imposto. Tale aspetto è in accordo con quanto osservato nelle misure di microanalisi, vista la modifica localizzata della composizione chimica del materiale.

Dalle prove DMA è stato possibile ricavare il coefficiente $\tan \delta$, rappresentativo delle prestazioni di smorzamento del materiale inteso come internal fiction. Esso mostra (Fig.7) un andamento non lineare in funzione della temperatura con una brusca variazione nell'intervallo compreso tra 60°C e 80°C in corrispondenza della trasformazione martensitica diretta ed inversa (vedi misura DSC). Infatti, è noto che le leghe SMA nella condizione martensitica (a temperature inferiori al picco di trasformazione diretta), sono caratterizzate da uno smorzamento nettamente superiore rispetto a quello nella condizione austenitica (sopra la trasformazione inversa). Si osserva da Figura 7 come il coefficiente di smorzamento interno del materiale in fase martensitica è circa pari a 0.05 mentre in fase austenitica si riduce del 70%. Da tale analisi si ricava anche l'intervallo di temperature ottimale per l'applicazione del materiale considerato, che risulta essere compreso tra 0° C e 60°C. Inoltre, in Figura 7 è proposto un confronto tra le prestazioni in termini di capacità di smorzamento delle vibrazioni meccaniche tra la lega SMA presa in esame ed un ottone commerciale, quindi non a memoria di forma. In questo confronto si può osservare come l'ottone commerciale (brass) mostri un valore di $\tan \delta$ pressoché nullo ri-

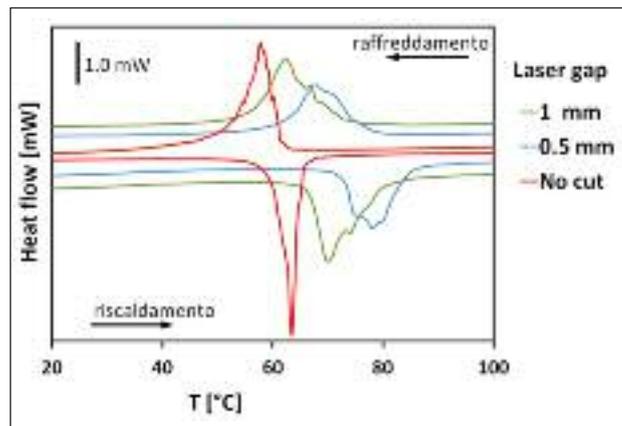


FIG. 6 Misure DSC dei campioni investigati per valutare l'effetto della lavorazione laser (heating / cooling rate: 10°C/min) in funzione del numero di tagli.

DSC scan of the different samples (heating/cooling speed: 10°C/min).

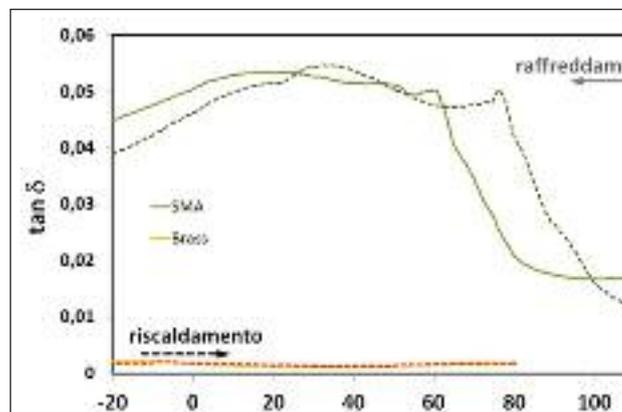


Fig. 7 Misure DMA, in termini di $\tan \delta$, del campione con gap 1.5 mm in CuZnAl SMA ed in ottone commerciale nella configurazione a trazione.

$\tan \delta$ in DMA scan of laser cut samples, made of CuZnAl SMA and brass in tensile configuration.

spetto alla lega SMA, confermando quindi le proprietà uniche delle leghe SMA che le rendono estremamente interessanti ed appetibili per la specifica applicazione in cui lo smorzamento di vibrazioni meccaniche diventa un aspetto di grande rilevanza. Il passo successivo della caratterizzazione è stato quello di valutare, in modo simile a quanto visto per le misure DMA, le proprietà di smorzamento della lega CuZnAl sulla sua scala reale. In questo caso, come mostrato in Figura 8, sono state effettuate delle misure di $\tan \delta$ e del conseguente modulo elastico E su una lamina di CuZnAl in funzione di ampiezze di deformazione diverse. I risultati ottenuti mostrano che il coefficiente di smorzamento $\tan \delta$ aumenta proporzionalmente con l'ampiezza di deformazione imposta per il riorientamento dei twin di martensite [2]. Al contrario, il modulo elastico ha un andamento inversamente proporzionale rispetto alla deformazione imposta. E' possibile quindi proporre un confronto tra la misura di $\tan \delta$ eseguita coi due metodi DMA e MTS su campioni di scale differenti. In corrispondenza dell'ampiezza di deformazione pari 0.05% di Figura 8, si osserva un valore di $\tan \delta$ (0.05) prossimo a quello riportato in Figura 7 a temperatura ambiente. Questa conferma permette di affermare che c'è coerenza tra le misure effettuate su piccola e grande scala dei campioni di CuZnAl.

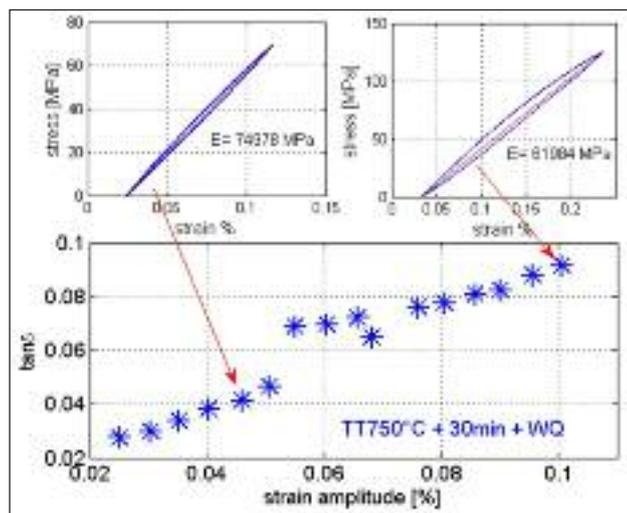


FIG. 8 *Misure di $\tan \delta$ in funzione dell'ampiezza di deformazione sulla lamina di CuZnAl durante le prove MTS. In evidenza sono riportati due cicli sforzo-deformazione in corrispondenza delle ampiezze di deformazione: 0.05% e 0.10%.*

$\tan \delta$ in function of deformation amplitude on CuZnAl sheet during MTS testing. Additionally, two graphs, showing stress-strain complete cycle for 0.05% and 0.10% strain amplitude, are reported, too.

Infine, è stata affrontata la tematica della caratterizzare del materiale composito in termini di capacità di smorzamento strutturale di vibrazioni meccaniche, considerando le varie differenti configurazioni descritte nel paragrafo “Materiale e procedure sperimentali”. Per riassumere i risultati ottenuti, in Figura 9 è proposto il confronto dell'andamento del coefficiente di smorzamento strutturale h , ottenuto da prove di decay per i diversi materiali compositi: due con gli inserti in lamina di CuZnAl tagliati laser nelle due configurazioni (vedi Figura 2), uno con inserto in ottone commerciale ed uno in resina di vetro senza l'aggiunta delle lamine. Il coefficiente di smorzamento h per la sola fibra di vetro è pari a circa 0.40-0.45 ed è il valore minore tra quelli ottenuti sperimentalmente. Questo è legato al fatto che la capacità di smorzamento di vibrazioni meccaniche da parte della fibra di vetro è limitata. Tale capacità di smorzamento è stata migliorata attraverso l'introduzione, all'interno della fibra di vetro, di elementi metallici opportunamente sagomati. Infatti, si nota che l'aggiunta di lamine di ottone commerciale porta ad un aumento del coefficiente di smorzamento strutturale h fino a circa 0.6 per elevate ampiezze di deformazione. La ragione di tale comportamento è da legare alla generazione di una zona di discontinuità tra la lamina e la fibra di vetro, che porta ad un effetto dissipativo puramente dipendente dall'interfaccia. Diventa, invece, significativo l'incremento delle proprietà di smorzamento quando si considera l'aggiunta delle lamine di CuZnAl. In Figura 9 si osserva come il coefficiente h aumenti fino a circa 1.4 per la configurazione A e circa 0.9 per la configurazione B. In questo caso il miglioramento delle proprietà di smorzamento è estremamente interessante ed è legato alle capacità di smorzamento proprie della lega SMA, (come già riscontrato in Figura 7), rispetto all'ottone commerciale. Attraverso questa analisi è anche possibile evidenziare l'effetto della geometria del pattern micro-tagliato laser: si nota, infatti, come la configurazione A mostri un miglior coefficiente di smorzamento strutturale rispetto alla configurazione B, in modo proporzionale alla quantità di materiale che è presente all'interno della lamina SMA.

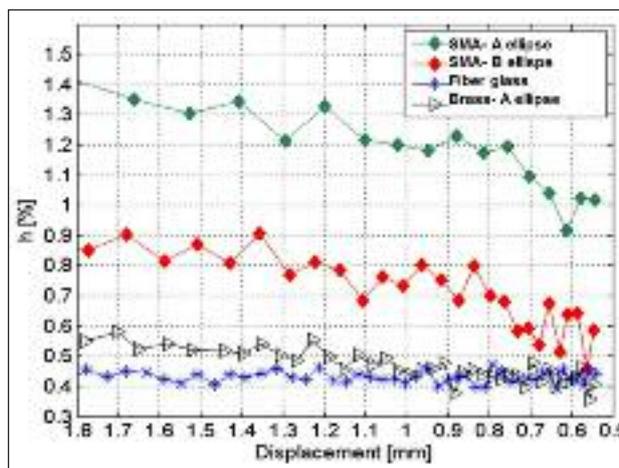


Fig. 9 *Misure di smorzamento strutturale h dei compositi con differenti configurazioni.*

Structural damping h of the composite material with different configurations.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato proposto uno studio legato alla caratterizzazione di un materiale composito, caratterizzato da una matrice in fibra di vetro e da lamine di CuZnAl a memoria di forma, utilizzabile in applicazioni in cui sia richiesto lo smorzamento di vibrazioni meccaniche. Le principali conclusioni del lavoro possono essere riassunte come segue:

- La tecnologia di micro taglio laser, con una sorgente laser in fibra pulsata, impiegata per realizzare dei pattern all'interno delle lamine di SMA, ha consentito di realizzare il composito massimizzando le capacità di smorzamento delle lamine senza introdurre problemi legati a difetti di adesione.
- È stato valutato l'effetto della lavorazione laser sulle proprietà microstrutturali, calorimetriche e funzionali del materiale SMA. È stato inoltre identificato in quale intervallo di temperatura consente di massimizzare la capacità di smorzamento intrinseco del materiale SMA.
- Le analisi dello smorzamento del composito, nelle differenti configurazioni indagate, mettono in evidenza come il materiale SMA consenta di aumentare nettamente le prestazioni di smorzamento di vibrazioni meccaniche.
- I campi di applicazione del materiale composito, caratterizzato in questo lavoro, possono essere potenzialmente tutti quelli che richiedono l'impiego di elementi che portino alla riduzione di vibrazioni meccaniche, come ad esempio il settore automobilistico, quello delle macchine utensili, quello ferroviario e la nautica.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. J. Van Humbeeck, Damping capacity of thermoelastic martensite in shape memory alloys, *Journal of Alloy and Compounds* 355 (2003), 58-64.
2. F.M. Mazzolai, A. Biscarini, B. Coluzzi, et. al., Low frequency internal friction of hydrogen-free and hydrogen-doped NiTi alloys, *Acta Materialia* 55(2007) 4243-4252.
3. A. Biscarini, B. Coluzzi, G. Mazzolai, et. al., Mechanical spectroscopy of H-free and H-doped NiTiCu shape memory, *Journal of Alloy and Compounds* 356 (2003), 669-672.
4. J. Van Humbeeck, Shape memory alloys: a material and a technology, *Advanced Engineering Materials* 3 (2001) 837-850.
5. S. Arnaboldi, P. Bassani, C.A. Biffi, et. al., Simulated and Experimental Damping Properties of a SMA/Fiber Glass Laminated Composite, *Journal of Materials Engineering and Performance* 20 (4-5), (2011), 551-558.

6. Y. Matsuzaki, T. Ikeda, C. Boller, New technological development of passive and active vibrational control: analysis and test, *Smart Materials and Structures*, 14 (2005), 343-348.
7. B. Previtali, S. Arnaboldi, P. Bassani, et al., Microcutting of NiTiCu alloy with pulsed fiber laser, ESDA2010-24943, 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Esda 2010, July 12-14, Istanbul.
8. Ahid D. Nashif, David I. Jones, John P. Henderson, *Vibration Damping*, 1985, John Wiley & Sons.

Abstract

Characterization of CuZnAl SMA/ glass fiber composite material for vibration suppression

Keywords: Cu based shape memory alloy; damping properties; composite material; functional characterization; laser microcutting; pulsed fiber laser.

In this work the functional characterization of an innovative composite material, suitable for passive suppression of flexural vibration of beams and shells, is presented and studied. Two patterned thin sheets of $\text{Cu}_{66}\text{Zn}_{24}\text{Al}_{10}$ (at.%) Shape Memory Alloy (SMA) are embedded into a layered beam, made of glass fiber. The proposed composite combines the density and stiffness of the glass fiber with the high damping properties of SMA, in the martensitic state. A patterning of the SMA sheets, designed and optimized in order to improve the adhesion between SMA and glass fiber, is performed by means of laser technology, using a nanosecond fiber laser. The effect of the laser microcutting process on transformation temperatures and internal friction properties of the SMA elements are analyzed, respectively using DSC and DMA. Moreover, measurements of the structural damping of the layered glass fiber/SMA composite are reported and the capability of the produced composite material to suppress the flexural vibrations is shown. The main conclusion of this work is the improvement of the structural damping properties of the discussed composite material, thanks to the high internal friction of SMA sheets in the martensitic state.