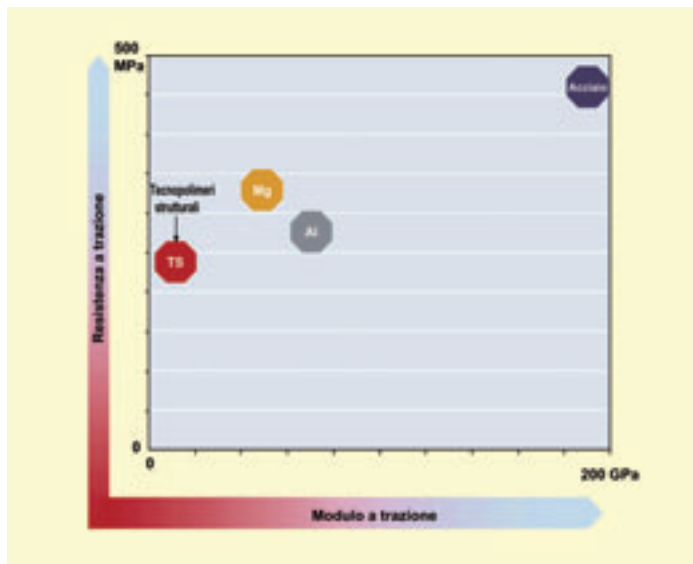


Componenti sempre più leggeri



I. Confronto di resistenza e rigidità
dei tecnopolimeri e di alcuni metalli.

La tecnologia MetaFuse sta rivoluzionando le tecniche tradizionali di produzione degli ibridi di plastica/metallo con una tecnologia innovativa "metallo su plastica" che oltre a migliorare nettamente le prestazioni mette a disposizione dei progettisti uno strumento in grado di modificare il loro modo di lavorare.

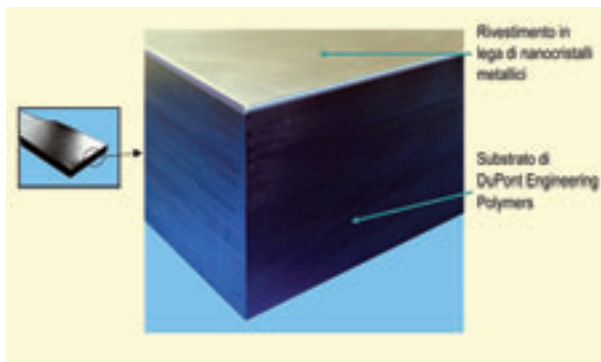
I tecnopolimeri vengono usati da tempo per ottimizzare i costi, la massa, le prestazioni e l'estetica nella fabbricazione di prodotti usati in tutto il mondo in applicazioni che vanno dagli articoli di consumo all'industria pesante. Questi materiali sono molto utilizzati in alternati-

va ai metalli in virtù dei numerosi vantaggi che offrono, tra cui:

- massa ridotta ed eccellente rapporto resistenza/peso;
- resistenza alla corrosione;
- flessibilità di progettazione, che permette l'integrazione e la realizzazione di forme complesse;
- bassi costi di trasformazione e operazioni secondarie ridotte al minimo.

I recenti sviluppi nell'area dei polimeri ad alte prestazioni e dei sistemi di rinforzo avanzati hanno ulteriormente ampliato l'uso dei tecno-

La tendenza a limitare il peso e a integrare le funzioni dei componenti nel settore automobilistico e in altri settori riducendo i costi e migliorando le prestazioni, ha spinto DuPont Engineering Polymers a creare una gamma di materiali Advanced Metals Replacement che oggi comprende due tecnologie: MetaFuse e SuperStructural Monolithic Solutions



2. Ibrido nanocristalli di metallo/polimero MetaFuse.

polimeri al posto dei metalli in applicazioni complesse. Tuttavia, anche con gli ultimi sviluppi nelle tecnologie dei polimeri, permane un divario significativo nelle proprietà meccaniche che limita l'uso dei tecnopolimeri in alcune applicazioni. La figura 1 mette a confronto le proprietà tipiche di resistenza e rigidità dei tecnopolimeri e di alcuni metalli.

Vari programmi di ricerca e sviluppo hanno messo a punto tecnologie alternative per la creazione di materiali che contribuiscono a colmare questo divario. Alcune nuove tecnologie combinano metalli e plastiche in sistemi ibridi che mettono a frutto le proprietà degli uni e delle altre. Progressi sono stati compiuti anche nell'area dei metodi tradizionali di sovrastampaggio di lastre e pezzi metallici sagomati; tali progressi, però, si scontrano con i limiti legati all'unione meccanica dei due materiali, alla progettazione e alla complessità degli stampi.

MetaFuse è una nuova tecnologia ibrida di rivestimento con nanocristalli di metallo su substrato di polimero introdotta da DuPont Engineering Polymers e dai suoi partner, le canadesi Morph Technologies Inc., Integran Technologies Inc. e la statunitense PowerMetal Technologies. La tecnologia MetaFuse utilizza un processo proprietario che permette di applicare con precisione un sottile strato di metallo ad altissima resistenza su componenti stampati in tecnopolimeri per creare componenti leggeri di forma complessa con la rigidità del magnesio o dell'alluminio e un livello di resistenza più elevato. In questo sistema ibrido, lo strato di metallo ha caratteristiche uniche nel suo genere in quanto ha una microstruttura nanocristallina che garantisce una resistenza elevata, non ottenibile con altri processi tradizionali di deposizione. La figura 2 illustra questo sistema ibrido.

Nanocristalli di metallo

Gli strati di metallo usati negli ibridi nanocristallini di metallo/polimero MetaFuse hanno elevatissime proprietà di resistenza, rese possibili da un processo proprietario che permette di lavorare queste leghe metalliche controllandone la microstruttura durante la lavorazione del materiale. La capacità di alterare le microstrutture non è una novità: esiste sin da quando sono nate le leghe, i trattamenti termici e la lavorazione a freddo dei metalli.

Il grande passo avanti rappresentato da questo processo è la capacità di formare materiali nanocristallini di altissima densità con un processo competitivo anche sul piano economico. Di norma, i metalli presentano microstrutture policristalline formate da gruppi di singoli cristal-

li di piccole dimensioni noti come grani. Esistono vari metalli che hanno composizione identica ma proprietà fisiche molto diverse, dovute a differenze della struttura microscopica. La granulometria è uno dei fattori che influisce sulle proprietà del materiale. La relazione empirica di Hall-Petch indica come varia la resistenza allo snervamento di un materiale in funzione delle dimensioni del grano:

$$\sigma_y = A + \frac{B}{\sqrt{d}}$$

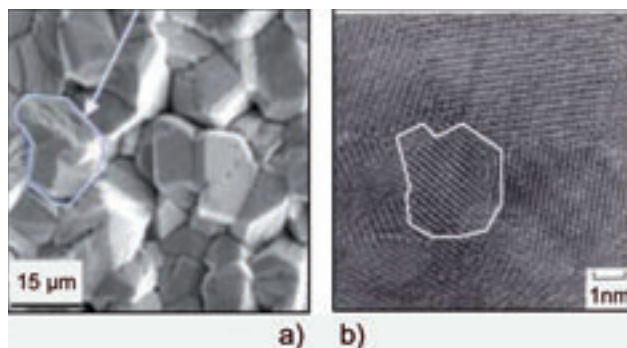
dove σ_y è la resistenza allo snervamento, A e B sono costanti del materiale e d è la dimensione media del grano.

Osservando l'equazione risulta evidente che più piccolo è il grano, maggiore è la resistenza allo snervamento. La riduzione delle dimensioni del grano migliora anche altre proprietà tra cui la resistenza a trazione, la durezza, la resistenza all'usura e il coefficiente di attrito. Questa tecnologia permette di creare materiali a grano fine utilizzando un processo ottimizzato che riduce le dimensioni del grano dalla scala micrometrica alla scala nanometrica, vale a dire di un fattore 1000. Nelle microfotografie della figura 3 appaiono evidenti le differenti strutture del grano dei nanocristalli di metallo e dei metalli normali; la tabella 1, invece, pone a confronto alcune proprietà del nichel nanocristallino e del nichel convenzionale.

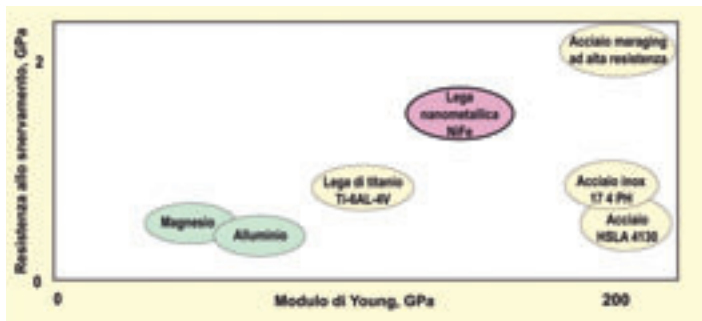
I nanocristalli di metallo hanno una grandezza media del grano intorno a 20 nm, all'incirca 1000 volte inferiore a quella dei metalli convenzionali, e una resistenza 2 o 3 volte superiore a quel-

Tabella 1.
Comparazione delle proprietà del nichel convenzionale e del nano-nichel [ASM International, 1990].

Proprietà	Ni convenzionale (20 μm)	Nano-Ni (100 nm)	Nano-Ni (100 nm)
Resistenza allo snervamento, MPa	103	670	~900
Carico di rottura per trazione, MPa	406	850	~1400
Durezza Vickers, Kg/mm ²	140	320	450



3. Materiale policristallino con grano di grandi dimensioni (a); Materiale nanocristallino [Integran Technologies Inc 2006] (b).



4. Confronto di leghe in nanocristalli di metallo vs. metalli ad alta resistenza e altri metalli.

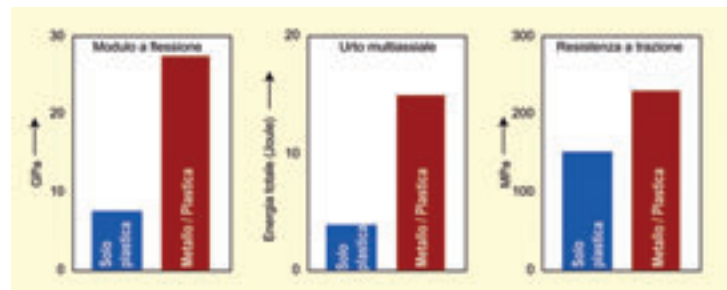
la degli acciai tipici e del nichel-cromo decorativo. Queste leghe costituite da nanocristalli di metallo mostrano una resistenza più elevata di quella dei metalli convenzionali e proprietà sostanzialmente equivalenti a quelle di altri metalli ad alta resistenza. La figura 4 pone a confronto leghe di nanocristalli di metallo con metalli ad alta resistenza, magnesio e alluminio pressofuso. La capacità di depositare nanocristalli di metallo sulla superficie di componenti in plastica permette di realizzare forme complesse, molto difficili da ottenere con i tradizionali metalli ad alta resistenza.

Le leghe costituite da nanocristalli di metallo hanno una resistenza molto più elevata rispetto ai metalli convenzionali, è quindi possibile depositarle in strati relativamente sottili su superfici di materiali plastici in modo da ottenere costruzioni ibride con proprietà strutturali, diversamente da ciò che accade con altre tecniche di deposizione di metalli, come la galvanoplastica convenzionale e la deposizione per vaporizzazione.

Ibridi nanocristalli di metallo/substrato

Gli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse si basano sull'applicazione di nanocristalli di metallo su aree specifiche di componenti stampati in tecnoplastica, in modo da accrescerne la rigidità e migliorare altre proprietà. La tecnologia MetaFuse è stata sviluppata impiegando specifici polimeri e processi proprietari di DuPont Engineering Polymers. Questo sistema si distingue da tutti gli altri in quanto permette un posizionamento ottimale del metallo allo scopo di migliorare la rigidità. Nelle condizioni effettive di impiego, molti componenti in metallo e plastica sono esposti a carichi che sottopongono il

5. Proprietà fisiche a confronto.



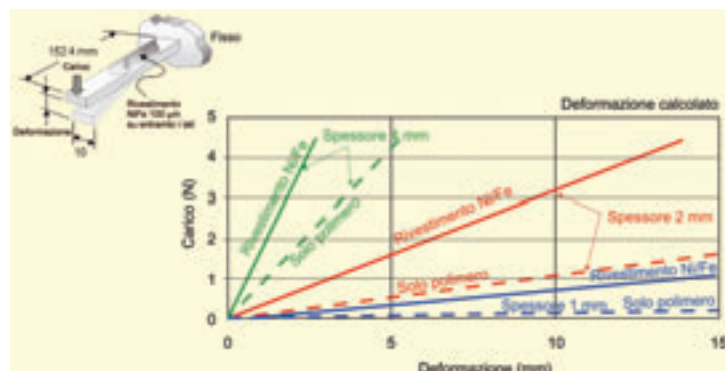
materiale a sollecitazioni di flessione. Per i carichi di flessione, il rivestimento in nanocristalli di metallo offre i maggiori vantaggi quando è applicato alle estremità del componente, il più lontano possibile dall'asse neutro. È proprio in questa zona, infatti, che si registrano le sollecitazioni di trazione e compressione elevate, visto che esse sono direttamente proporzionali alla distanza dall'asse neutro. I nanocristalli di metallo, resistenti e resilienti, hanno le caratteristiche ideali per resistere ai carichi. Anche la rigidità flessionale del componente aumenta, perché è data dal prodotto del modulo per il momento di inerzia; l'inerzia del rivestimento aumenta in maniera esponenziale al crescere della distanza dall'asse neutro. Analogamente, la rigidità e la resistenza torsionale migliorano spostando radialmente il rivestimento verso l'esterno per aumentare il momento polare di inerzia. Le sezio-

ni esterne sono quelle che sopportano la torsione maggiore, ed è qui che la resistenza superiore dei nanocristalli di metallo offre i più grandi benefici.

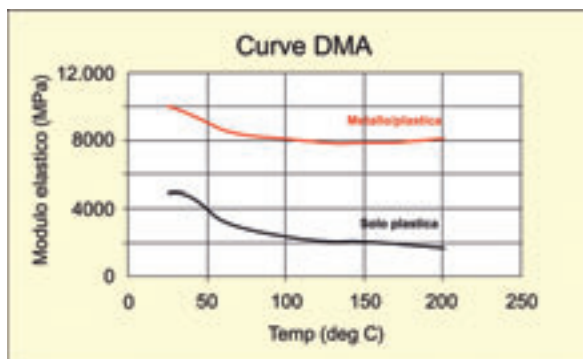
Per caratterizzare le proprietà del sistema ibrido MetaFuse sono state effettuate prove sulle proprietà utilizzando vari tipi di tecnopolimeri per il substrato. Il grado di sviluppo delle proprietà dipende sia dalla materia plastica del substrato che dal posizionamento e dallo spessore del metallo applicato. Qui è illustrato il processo di mi-

glioramento tipico delle proprietà fisiche rilevato con test effettuati su barrette per prove di trazione (formato Iso) stampate a iniezione in Zytel PA66 rinforzato con il 25% di vetro e poi rivestite interamente con 100 micron di una lega nanocristallina nichel/ferro. La figura 5 pone a confronto il comportamento a temperatura ambiente della costruzione ibrida in nanocristalli di metallo/substrato di polimero e della sola plastica prendendo in esame tre proprietà: rigidità flessionale misurata attraverso il modulo a flessione, resistenza a trazione e resistenza all'urto misurata con una prova d'urto multiassiale.

Come risulta evidente dai grafici, l'ibrido permette di ottenere livelli di modulo a flessione e resistenza all'urto due o tre volte superiori a quelli della sola plastica. Queste proprietà dipendono strettamente dalla geometria del campione, dallo spessore del metallo e dal materia-



6. Le curve mostrano le curve carico/deformazione stimate per travi a sbalzo di diverso spessore con substrato in Zytel HTN.



7. Modulo in funzione della temperatura, MetaFuse e solo plastica.

8. Alcuni principi di utilizzo del rivestimento in nanocristalli di metallo selettivo.



le plastiche del substrato. La resistenza a trazione è direttamente proporzionale alla quantità di metallo utilizzata.

A ulteriore riprova della possibilità di ottenere il livello desiderato di proprietà strutturali con gli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse, la figura 6 mostra le curve carico/deformazione stimate per travi a sbalzo di diverso spessore con substrato in Zytel HTN. Proprietà simili possono essere ottenute intervenendo sullo spessore e sul posizionamento dello strato in nanocristalli di metallo.

Le prove effettuate hanno dimostrato anche che gli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse conservano un ottimo livello di proprietà strutturali a temperature che nei polimeri non rivestiti provocano un degrado significativo delle proprietà. La figura 6 mostra i dati dell'analisi dinamico-meccanica (Dma) riferita alle proprietà delle materie plastiche e degli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero.

La Dma è una tecnica usata per studiare e caratterizzare proprietà dei materiali; si effettua deformando il campione sotto l'azione di un carico a differenti temperature. L'analisi permette di determinare la rigidità del campione e di calcolarne il modulo. I dati della figura 7 mettono a confronto il comportamento del polimero e dell'ibrido nanocristalli di metallo/substrato di polimero, e mostrano che il campione in plastica/metallo mantiene il 70%-80% del modulo iniziale anche a temperature superiori alla temperatura di transizione vetrosa del polimero. Questi dati indicano che con MetaFuse è possibile utilizzare i polimeri anche per applicazioni strutturali ad alta temperatura e ampliare di 50-75 gradi Celsius l'in-

tervallo di temperature di esercizio dei pezzi realizzati in plastica. I risultati, naturalmente, dipendono dalle proprietà del polimero usato per il substrato.

In molte applicazioni pratiche, può non essere necessario applicare il rivestimento in nanocristalli di metallo su tutta la superficie del componente: è sufficiente depositarlo su aree specifiche. La figura 8 presenta alcuni principi di utilizzo del rivestimento in nanocristalli di metallo selettivo. Si è voluto, sino ad ora, concentrare l'attenzione sul miglioramento delle proprietà di rigidità e resistenza; questi, però, non sono gli unici vantaggi degli ibridi in nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse, che si distinguono anche per le doti di resistenza all'usura, resistenza al creep, conducibilità elettrica, resistenza chimica, schermatura EMI, permeabilità ai gas/fluidi e stabilità igroscopica e agli UV.

Campi di applicazione

Le potenziali applicazioni sono numerose e riguardano tra gli altri i settori automobilistico, dell'elettronica di consumo e degli articoli sportivi, per componenti quali coppe dell'olio, coperchi testata, pompe acqua e olio, guarnizioni e relativi supporti, bracci di tensionamento per la catena di distribuzione, alloggiamenti e componenti di trasmissioni, condotti per carburante, motori elettrici per il settore auto, alloggiamenti e coperchi di dispositivi elettrici, staffe per piantone sterzo e componenti dello sterzo, braccetti sospensione/di control-

lo, involucri e telai per cellulari, componenti di biciclette, mulinelli da pesca e teste di mazze da golf. Per maggiori informazioni sulle potenziali applicazioni nel settore automobilistico, si vedano gli esempi riportati più avanti. Tra gli sviluppi associati si segnala la recente commercializzazione della mazza da golf Epic in nanocristalli di metallo/polimero, realizzata da PowerMetal con la propria tecnologia Nanofuse. PowerMetal ha anche altre applicazio-

ni nel mercato delle attrezzature sportive e ricreative.

Infine, gli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse offrono grandi potenzialità anche dal punto di vista dell'utilizzo dei polimeri in applicazioni più impegnative che richiedono componenti che offrano la resistenza e la rigidità del metallo e in più la flessibilità di progettazione e la leggerezza dei termoplastici ad alte prestazioni. Gli ibridi nanocristalli di metallo/substrato di polimero MetaFuse offrono un livello elevato di prestazioni e una nuova libertà di design:

- livello più elevato di resistenza e rigidità con un peso minimo;
- fabbricazione diretta di componenti strutturali di forma complessa;
- miglioramento della resistenza, della rigidità e della resistenza al creep dei pezzi in plastica ad alta temperatura;
- rivestimento della plastica con uno strato duro, resistente all'usura e potenzialmente a basso attrito;
- miglioramento delle caratteristiche di impermeabilità, conducibilità e stabilità dimensionale della plastica;
- caratteristiche estetiche/aspetto metallico.

readerservice.it n. 59