Film Sottili Autolubrificanti a base Carbonio

Lo sviluppo di rivestimenti superficiali sottili ha raggiunto negli ultimi anni livelli di complessità e specializzazione estremamente elevati. In questo campo i **rivestimenti sottili autolubrificanti** rappresentano una delle categorie più interessanti per il loro ampio utilizzo nella **meccanica avanzata** e per il potenziale impatto positivo nell'ottica del **risparmio energetico**. I continui progressi in questo settore dipendono dall'avanzamento delle conoscenze scientifiche e tecnologiche come pure dalla implementazione di sistemi di deposizione sempre più sofisticati che permettono un controllo accurato e l'ottimizzazione del processo su diversi materiali. In questo progetto è stato sviluppato un processo di **funzionalizzazione post-processing** su **ricoprimenti industriali autolubrificanti** di tipo **DLC.** Il processo si basa sull'utilizzo di nanostrutture a base di carbonio e i risultati indicano il raggiungimento di **CoF < 0.1** contro acciaio in condizioni di lavoro realistiche.

"Nano-diamanti e Grafene migliorano le caratteristiche dei rivestimenti industriali di tipo DLC"

Laboratorio	CNR-NANO S3
Area di specializzazione	Meccatronica e Materiali
Referenti	Guido Paolicelli
Keyword	Self-lubricant coating, Diamond-like thin film, Low-friction, anti wear , Surface engineering

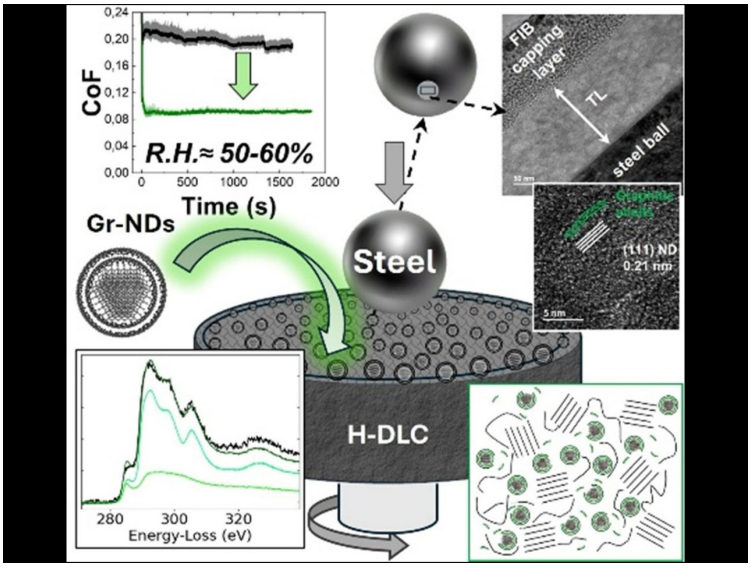


Fig. 1: Sintesi del processo di funzionalizzazione tramite nonodiamanti grafitici. In alto, a sinistra riduzione del CoF, a destra analisi dello strato di trasferimento (Transmission Electron Microscopy,TEM)



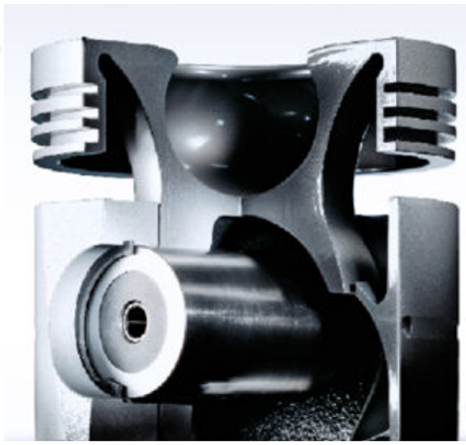


Fig. 2: Esempi di applicazioni. A sinistra ricoprimento DLC su particolari per stampaggio a freddo, a destra asse di rotazione autolubrificato con rivestimento DLC

Descrizione

I rivestimenti denominati Diamond-like Carbon (DLC) sono ampiamente utilizzati per migliorare le prestazioni di componenti meccanici in condizioni di contatto e strisciamento. Grazie alle eccellenti caratteristiche di durezza, stabilità chimica e comportamento tribologico i rivestimenti DLC risultano estremamente efficaci anche in assenza di lubrificante liquido e rappresentano una soluzione ampiamente utilizzata in campo industriale in particolare su substrati metallici. Le prestazioni di tali rivestimenti, formati da atomi di carbonio disposti in un network amorfo con percentuali variabili di legami sp2 ed sp3, dipendono dallo strato di carbonio parzialmente ordinato che si forma all'interfaccia durante lo scorrimento. Il comportamento è dunque influenzato sia dalle condizioni di lavoro come pure dalla composizione specifica del rivestimento. In effetti i rivestimenti DLC rappresentano una classe di materiali le cui caratteristiche possono essere fortemente modificate e in qualche modo ottimizzate dalle condizioni di crescita e dalla tecnica di deposizione. Nel tempo sono stati sviluppati ricoprimenti sempre più specifici cioè adatti a particolari condizioni di lavoro e/o substrati piuttosto che soluzioni che possano garantire ottime performance tribologiche su un ampio spettro di utilizzo. Il presente sviluppo invece è pensato per soddisfare una gamma ampia di situazioni realistiche e si basa su una fase di funzionalizzazione successiva alla deposizione.

Aspetti innovativi

Il processo di funzionalizzazione utilizza specifiche nanostrutture di carbonio che vengono aggiunte, dopo il processo di deposizione del DLC, direttamente all'interfaccia. Queste nanostrutture, a causa del contatto e dello scorrimento, attivano la formazione di un particolare strato di trasferimento che migliora il comportamento del rivestimento DLC riducendo l'attrito e l'usura in un ampio range di condizioni di utilizzo. Sono state sviluppate differenti soluzioni sia a partire da nanostrutture già disponibili sul mercato (nanodiamanti e grafene) ovvero da nanoparticelle appositamente sintetizzate. I risultati ottenuti su rivestimenti DLC caratterizzati da rugosità micrometrica, indicano ottimi comportamenti tribologici sia in atmosfera secca che umida. L'uso di nanoparticelle specifiche ottenute a partire da nano-diamanti e formate da un core duro (tipo diamante) ricoperto da strati esterni di tipo grafitico si è dimostrato particolarmente efficace per rivestimenti DLC prodotti industrialmente accoppiati ad una controparte in acciaio anche in condizioni di umidità relativa pari al 60%.

Applicazioni

Ottimizzazione di rivestimenti DLC come autolubrificanti solidi in contesti che richiedono la riduzione o la completa eliminazione dei lubrificanti liquidi.

- **Automazione:** ingranaggi, movimenti lineari, guide
- **Stampa a freddo**
- **Stampa di materie plastiche**
- **Componenti Medicali**

Ottimizzazione di rivestimenti DLC nell'ottica del risparmio energetico:

- **Automotive**

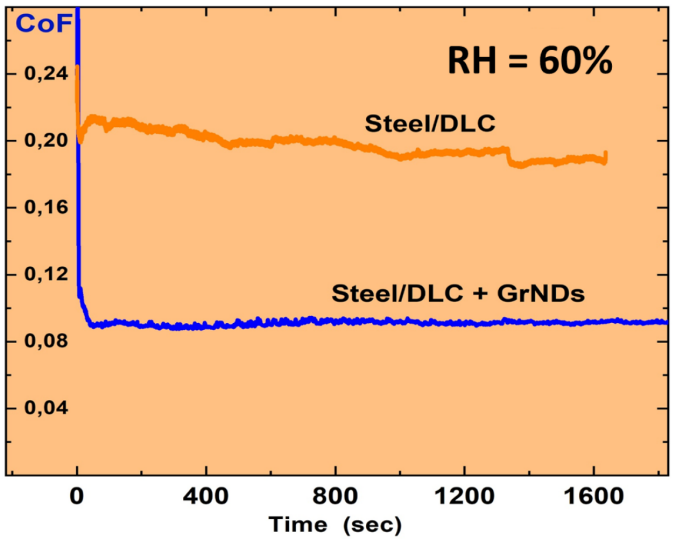


Fig. 3: Applicazione di nanodiamanti grafitici su DLC. Risultato dei test tribologici effettuati in atmosfera controllata (RH 60%) con una controparte in acciaio 100Cr6 .

Esempio di applicazione

Riduzione del coefficiente di attrito di rivestimenti autolubrificanti H-DLC (Hydrogenated-DLC) in condizioni di alta umidità relativa (60%).
Rivestimenti H-DLC cresciuti industrialmente con processo PA-CVD su lega AlSi10Mg, caratterizzati da rugosità pari a 0.5 micron, sono stati ottimizzati senza intervenire sul processo di deposizione ma con una funzionalizzazione post-processing sino ad ottenere un coefficiente di attrito < 0.1 anche in condizioni di elevata umidità relativa.

I rivestimenti H-DLC (Hydrogenated-DLC) sono ampiamente utilizzati in applicazioni tribologiche ad alte prestazioni, tuttavia il loro comportamento in termini di attrito in ambienti umidi rimane una limitazione critica. Film sottili di tipo H-DLC, cresciuti industrialmente con processo PA-CVD su lega AlSi10Mg e caratterizzati da rugosità pari a 0.5 micron, sono stati utilizzati come applicazione modello per la validazione del trattamento sviluppato in questo progetto.
I rivestimenti H-DLC sono stati trattati senza intervenire sul processo di deposizione ma con una funzionalizzazione post-processing basata sulla deposizione drop-casting di nano-diamanti grafitici cioè nanoparticelle formate da un core duro (diamante) ricoperto da strati esterni di tipo grafitico secondo il protocollo sviluppato in questo progetto.
Test tribologici di tipo pin-on-disk effettuati in atmosfera controllata (RH 60%) con una controparte in acciaio 100Cr6 hanno evidenziato una forte riduzione dell' attrito (coefficiente di attrito <0,1) ed un incremento della resistenza alla usura.
L'utilizzo di nano-diamanti grafitici si dimostra quindi una strategia dirompente per i rivestimenti H-DLC, offrendo una soluzione robusta, scalabile ed ecologica per migliorare le prestazioni tribologiche in applicazioni meccaniche impegnative.

Partner coinvolti

Lafer S.p.A. una presenza consolidata nel campo dei ricoprimenti e dei **rivestimenti DLC** per componenti meccanici
Silvia Giordani, DCU University, sintesi delle nanoparticelle.
Progetto ECOSISTER, PNRR Mission 04 Component 2 Investment1.5–NextGenerationEU, Call for tender n. 3277 Award Number: 0001052.

Tempi di realizzazione

6-12mesi/persona

Livello di maturità tecnologica

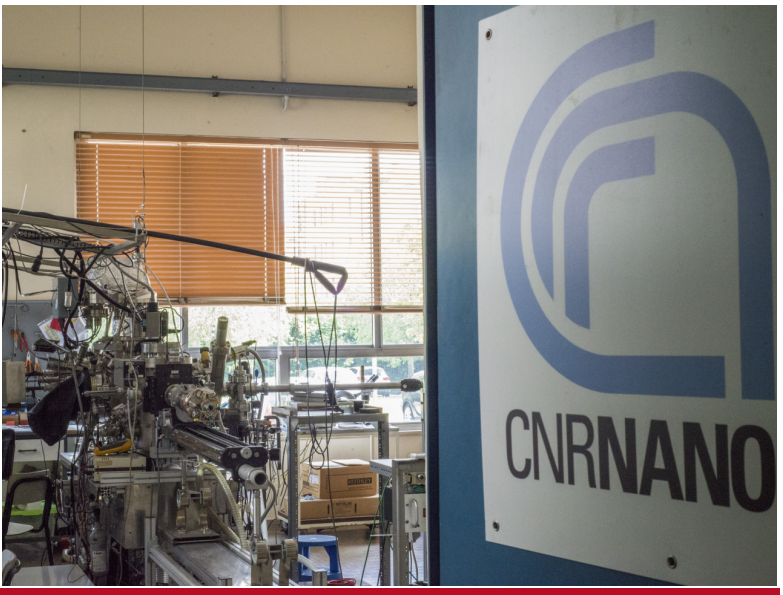
TRL 5 - tecnologia validata in ambiente rilevante

Valorizzazione applicazione

Sono previste attività di ottimizzazione del processo con l'obiettivo di ampliare le condoni di utilizzo e migliorare la qualità della deposizione post-processing. Parallelamente è in corso una ampia azione di promozione delle soluzioni innovative sviluppate nel progetto con attenzione rivolta verso i settori automotive, aerospaziale, macchine automatiche e settore medicale.

CNR-NANO S3

CNR - Istituto Nanoscienze UOS Modena



Sito web	http://www.nano.cnr.it/?ente=modena
Direttore	Arrigo Calzolari
Data pubblicazione	29/12/2025

CNR NANO S3 è un centro interdisciplinare di ricerca dedicato alle nanoscienze e alle nanotecnologie, alla frontiera della ricerca di base e industriale in settori che vanno dalla meccanica alla biomedicina, dall'ICT all'energia.

Il Centro, riconosciuto come un'eccellenza scientifica a livello nazionale e nel mondo, è molto attivo a livello locale, dove svolge un'azione trainante in sinergia con l'Università e le industrie, e gioca su tutti questi fronti per catalizzare a Modena progetti e risorse per la ricerca.

Il nucleo dell'attività di CNR NANO S3 è istituzionalmente rappresentato dalla ricerca di base.

CNR NANO S3 offre a utenti, committenti e partner esterni una serie di forme di servizio nell'ambito della ricerca industriale, dell'innovazione e del trasferimento tecnologico.
• Servizi personalizzati:
1. Attività motu proprio: si tratta di progetti di ricerca e trasferimento tecnologico, che devono di norma prevedere un attivo coinvolgimento di utenti esterni, ma con ricadute sul più ampio numero possibile di destinatari. Rientrano in questa sottocategoria anche i progetti realizzati all'interno di programmi regionali, nazionali ed europei, in partnership con altri centri di ricerca e di innovazione.
2. Attività su commessa: programmi che corrispondono ad attività pianificate e condotte per soddisfare specifiche esigenze di uno o più utenti esterni.
• Servizi a tariffario
• Servizi di formazione personalizzata