

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

# MIGLIORI PRESTAZIONI COL CARBONIO DURO AMORFO

**Per migliorare il funzionamento di un sistema meccanico spesso occorre rafforzare le proprietà di superficie delle parti che lo compongono. La deposizione sottovuoto del carbonio duro amorfo permette la creazione di strati sottili con proprietà tribologiche che garantiscono aderenza anche a elevati gradi di sollecitazione**

**di Marc Hervé  
e Frédéric Meunier**

In un motore, una pressa o qualsiasi altro sistema meccanico, si rende spesso necessario rafforzare le proprietà di superficie delle parti che li compongono al fine di migliorarne il funzionamento, le prestazioni e la durata di vita. A tale scopo la deposizione sottovuoto offre una soluzione particolarmente interessante poiché permette la realizzazione di strati sottili con eccellenti proprietà tribologiche, pur assicurando nello stesso tempo ottima aderenza anche a elevati livelli di sollecitazione. Inoltre, i depositi sottovuoto conservano lo stato superficiale iniziale delle parti e grazie al ridotto spessore depositato (per le applicazioni meccaniche, tipicamente fra 2 e 5  $\mu\text{m}$ ) è possibile, nella stragrande maggioranza dei casi, lavorare su parti finite meccanicamente senza alcuna necessità di lucidatura o di rettifica dopo la deposizione. Nella famiglia dei depositi sottovuoto sono già noti il nitruro di titanio (dal colore giallo oro) o i carbonitruri di titanio, ma oggi esiste un materiale di

durezza ancora maggiore, meno aggressivo e con coefficiente d'attrito nettamente inferiore: il carbonio duro amorfo.

## CARBONIO DURO AMORFO

Il carbonio duro amorfo, chiamato anche DLC (diamond like carbon), è un materiale dalle qualità assai interessanti. Questo materiale viene depositato in strati sottili (da 1 a 2  $\mu\text{m}$ ) ed è composto da carbonio e da idrogeno. L'elemento dominante è senza dubbio il carbonio (dal 70 al 90% a seconda dei processi di elaborazione). Il materiale è amorfo dal punto di vista cristallografico, ma la sua struttura atomica ha delle affinità con quella del diamante e della grafite. Queste analogie con il diamante e con la grafite fanno sì che gli strati di carbonio inerte dispongano delle proprietà tribologiche di questi materiali. Una durezza di 4000 HV (ossia da 4 a 5 volte più duro di un acciaio per utensileria) è associata a un coefficiente





**Gli strati di carbonio, mentre abbassano il coefficiente d'attrito, limitano l'usura sul pezzo antagonista ed evitano il grippaggio.**

di attrito molto basso (il coefficiente di attrito è di 0,1 per una coppia carbonio duro amorfo/acciaio; a secco). Per ottenere il carbonio duro amorfo esistono numerose vie di sintesi, ma ciascuna di queste conduce a dei livelli di caratteristiche diversi. La Sorevi ha concepito e realizzato un esclusivo sistema di produzione. I rivestimenti di carbonio duro amorfo (Cavidur e Cavigliss) si presentano sotto forma di rivestimenti multistrati, che comprendono sottostrati di ancoraggio a base di nitruri e di carburi metallici, e uno strato finale di carbonio duro amorfo. L'insieme del rivestimento, con uno spessore che va da 3 a 5  $\mu\text{m}$  secondo il caso, viene ottenuto in un unico ciclo continuo di deposizione. Non vi è alcuna interruzione nella crescita del rivestimento; e questo dalla creazione dei sottostrati di ancoraggio allo strato finale di carbonio. La sintesi dei sottostrati è realizzata in PVD (physical vapour deposit, deposito fisico dei vapori). Per quanto riguarda lo strato di carbonio, questo viene sintetizzato in PACVD (plasma assisted chemical vapour deposit, deposito chimico dei vapori assistito al plasma). Per la realizzazione dei sottostrati, il metallo viene messo in stato di vapore in presenza di gas reattivi. Una scarica elettrica (ottenuta a bassa pressione: minore di 10<sup>-3</sup> mbar) permette, attivando la dinamica reattiva, di far reagire il metallo allo stato di vapore con il gas ambiente. In questo modo, in presenza di azoto sul pezzo da rivestire, si formerà uno strato di nitruro, mentre in presenza di un idrocarburo sul pezzo verrà sintetizzato un carburo. Lo strato finale di carbonio inerte viene ottenuto per "semplice" decomposizione di un idrocarburo in presenza di una scarica elettrica. Il livello d'aderenza ottenuto con questo procedimento apre la strada alla progettazione di numerose applicazioni nei campi della protezione contro l'usura e della riduzione dei livelli d'attrito. Laddove, fino a un recente passato, gli strati di carbonio presenti sul mercato non consentivano la

realizzazione di applicazioni meccaniche estreme. La durata della vita degli utensili di stampa può così essere aumentata in modo significativo. Inoltre, il basso coefficiente di attrito del carburo inerte unito alla sua specifica ridotta aggressività assicurano una qualità di lavorazione ben superiore a quella ottenibile con utensile non rivestito.

## PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE

La pulitura in loco dei particolari nella macchina sottovuoto non è che una fase della finitura nella preparazione della superficie prima della deposizione del carburo duro amorfo.

### Pulitura

I pezzi da trattare sono generalmente acciai. Alcuni tipi sono particolarmente soggetti all'ossidazione, come per esempio il 100C6 per applicazioni del tipo cuscinetti o il Z160CDV12 per gli utensili di messa in forma a freddo. I pezzi devono pertanto essere protetti dall'ossidazione prima del trattamento. Vengono generalmente utilizzati degli olii. Poiché questi composti sono totalmente incompatibili con il vuoto, conviene eliminarli completamente prima del trattamento. A tale scopo non è sufficiente la pulitura in loco. Per quest'operazione conviene servirsi di una catena di lavaggio a base di detersivi associata a potenti ultrasuoni, per assicurare, oltre alla decontaminazione chimica, l'asportazione di tutte le particelle solide eventualmente risultanti dalla preparazione della superficie dopo la lavorazione. Si tratta spesso di paste di politura, fanghi di tribofinitura, microtrucioli. È essenziale asportare con cura queste particelle, in quanto con queste tecniche di deposizione non vi è effetto "lavaggio", come nella deposizione elettrolitica, da parte del bagno che circonda i pezzi. Ogni particella non asportata prima dell'introduzione nel forno comporterà localmente la totale mancanza del rivestimento.

### Stato superficiale

Prima della sintesi degli strati per deposizione sottovuoto, alcune fasi della preparazione della superficie sono assolutamente necessarie. Vi è indubbiamente la pulitura, ma innanzitutto conviene assicurarsi che lo stato della superficie sia idoneo a ricevere uno strato di carbonio. In effetti, se è tecnicamente possibile la deposizione su superfici grezze di lavorazione (ad esempio, con  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ ), una tale rugosità, crea "cavità e creste" dell'ordine di  $R_a 0,5 \mu\text{m}$  sulla superficie del pezzo. È facile comprendere come la deposizione di alcuni micron sopra un simile rilievo non apporti alcun beneficio dal punto di vista tribologico. È ammesso che uno stato

**Il carbonio s'integra nei sistemi meccanici sollecitati, come gli elementi di distribuzione dei motori, componenti di cuscinetti, colonne di guida, elementi di macchine tessili.**

superficiale definito da valori di Ra inferiori a 0,10/0,15 µm permetta di far lavorare correttamente gli strati. Il comportamento sarà migliorato depositando su valori di Ra inferiori.

#### **Livelli di durezza**

Per utilizzare in meccanica gli strati di carbonio in modo efficace, bisogna inoltre assicurarsi che il livello di durezza del substrato sia sufficiente. Non si deve pensare, infatti, che l'elevata durezza del rivestimento possa compensare la mancanza di "rigidità" del substrato. Per un'attrezzatura d'imbutitura, non si trarrà pienamente vantaggio da un rivestimento di carbonio duro amorfo se all'inizio l'utensile da trattare non presenterà un livello sufficiente di durezza (generalmente 60 Hrc). Per tali applicazioni, un acciaio non sufficientemente duro provocherà in un primo tempo la deformazione del substrato pur senza rottura del rivestimento. Se il livello di deformazione nel substrato aumenterà eccessivamente, vi sarà assenza di coesione nel rivestimento. Aumentare la durezza permette, per uno stesso livello di sollecitazioni, di ridurre l'intensità delle deformazioni. Per applicazioni d'attrito puro come lo scorrimento di un pistone, non occorre necessariamente fare ricorso a leghe molto dure. La deposizione sugli allumini dà piena soddisfazione.

#### **ESEMPIO DI APPLICAZIONE**

Possiamo ragionevolmente affermare che oggi è possibile trattare pezzi che vanno da dimensioni di alcuni millimetri a parecchie decine di centimetri. In altri termini, un



pezzo di 100 cm è un pezzo di grosse dimensioni, ma è possibile trattarlo. In termini di dimensioni, la capacità massima attuale è un pezzo compreso in un volume di 400 mm di diametro e 650 mm di lunghezza. Tenuto conto delle caratteristiche del carbonio duro amorfo, è principalmente da utilizzare per aumentare la durata di vita o migliorare lo scorrimento. Il carbonio duro amorfo riduce il coefficiente di attrito. Il valore del coefficiente d'attrito con l'acciaio (senza lubrificante) è circa 0,1. Il coefficiente di attrito acciaio contro acciaio, nelle stesse condizioni e senza trattamento, è di 4 ÷ 6 volte più elevato.

#### **TEST SU TRIBOMETRO ALTERNATIVO**

Configurazione test: sfera (raggio di curvatura 4 mm) / piano (sfera fissa, piano mobile). Spostamento: velocità lineare di 3,5 mm/s; frequenza di 2 Hz. Carica applicata: 10 N ossia una pressione media di 0,8 Gpa (pressione massima di 1,2 Gpa). Natura dei campioni: sfera e piano rivestiti, substrati in acciaio 100 C 6.

Ambiente: aria con un tasso di umidità del 70%. Diametro contatto hertziano iniziale approssimativo: 125 µm. Gli strati di carbonio, mentre abbassano il coefficiente d'attrito, limitano l'usura sul pezzo antagonista ed evitano il grippaggio. In tal modo, sono stati ottenuti significativi miglioramenti su macchine e attrezzature di messa in forma a freddo, aumentandone la durata e la qualità delle prestazioni. Per quanto riguarda l'imbutitura dell'inox, si evitano i trasferimenti aderenti sulle attrezzature, causa di rigature sui pezzi imbutiti. Inoltre, poiché il carbonio agisce come un lubrificante solido, è possibile diminuire anche la quantità del lubrificante utilizzato per l'imbutitura. Il carbonio si integra perfettamente nei sistemi meccanici sollecitati. Al riguardo si possono citare gli elementi di distribuzione dei motori, alcuni componenti di cuscinetti, colonne di guida, elementi di macchine tessili. Il carbonio duro amorfo è biocompatibile. Fra i principali impieghi, il trattamento di impianti ortopedici. Esso assicura ai pezzi una durata di vita molto superiore e, nelle coppie d'attrito con polietilene, evita completamente l'usura di quest'ultimo materiale. Il carbonio duro amorfo presenta proprietà chimiche che ne permettono, in alcuni casi, l'impiego come rivestimento antiadesivo. Viene utilizzato per l'iniezione di alcuni polimeri o per la messa in forma di polveri. Tali proprietà anti-incollaggio possono essere rafforzate mediante incorporazione di dopante in fase gassosa durante la sintesi dello strato di carbonio.

Frédéric Meunier, Marc Hervé svolgono la loro attività presso Tagma Sorevi, di Limoges, Francia.