

Rivestimenti PVD antiusura: applicazioni industriali

C. Pecchio, S. De Rossi

Le tecniche PVD rappresentano una soluzione industriale attuale per la realizzazione di rivestimenti in molteplici applicazioni. La funzionalizzazione della superficie consente di conferire al materiale prestazioni innovative contenendo i prezzi di produzione. Spesso il rivestimento non ha alternative economicamente o tecnologicamente valide. L'attuale tendenza dello sviluppo tecnologico, fortemente caratterizzato da una estrema attenzione agli aspetti di impatto ambientale e di incidenza sulla salute, ha considerevolmente incrementato l'impiego di queste tecniche considerate "pulite".

Per alcune specifiche di prodotto le tecniche PVD stanno progressivamente sostituendo quelle tradizionali basate su deposizione elettrolitica. Rispetto a queste ultime, la quantità di parametri di processo controllabili è maggiore ed è quindi più ampia la versatilità e la tipologia di rivestimenti ottenibili.

APPLICAZIONI

La possibilità di realizzare rivestimenti PVD antiusura ad elevate prestazioni è ormai ampiamente dimostrata. Storicamente le prime applicazioni di questo tipo hanno riguardato l'utensileria per asportazione di truciolo, che ancora oggi costituisce il volume d'affari maggiore per i rivestimenti PVD antiusura. Sono tuttavia oggi affermate anche applicazioni nella tranciatura, nello stampaggio a freddo (matrici, punzoni), nello stampaggio di materiali plastici e, in misura minore, nello stampaggio a caldo.

Si stanno affermando anche significative applicazioni nel campo della componentistica di macchinari ad elevate cadenze di lavoro, quali macchine confezionatrici e motori ad elevate prestazioni (Fig. 1). Questi meccanismi, per poter lavorare correttamente, necessitano di accoppiamenti con giochi molto ridotti; è pertanto indispensabile far sì che l'usura dei particolari sia quanto più possibile contenuta, al fine di mantenere i giochi ai loro valori ottimali per tempi adeguati. Un esempio di applicazione riguarda le macchine per lo stampaggio dei tappi in plastica per le bottiglie di bevande (Fig. 2).

L'introduzione di rivestimenti antiusura

Fig. 1 - Creatore: rivestimento TiN.

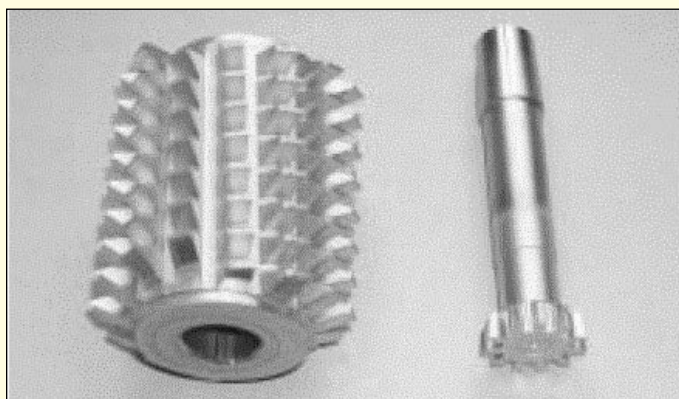


Fig. 2 - Stampi per tappi bottiglie.

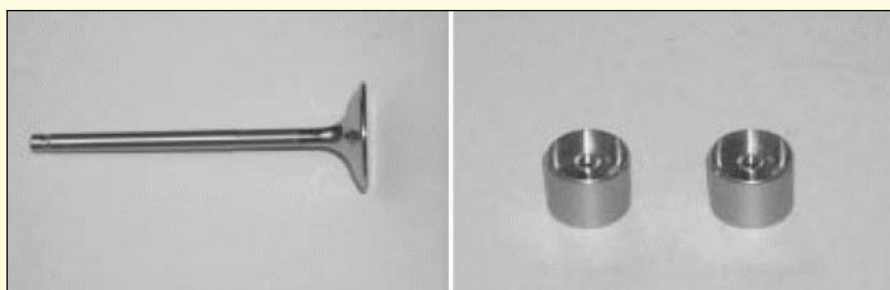
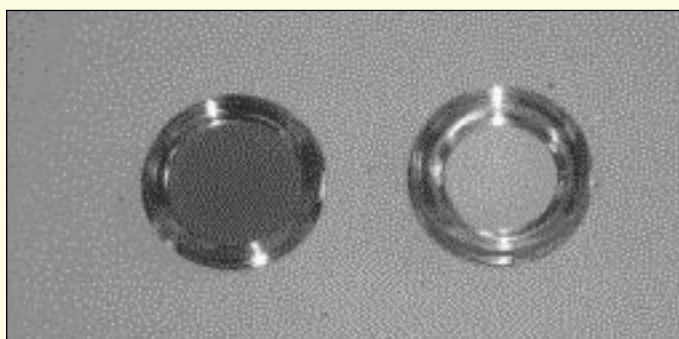


Fig. 3 - Valvola e bicchierino: rivestimento CrN.

ad elevate prestazioni consente inoltre di estendere l'impiego di leghe leggere, molto utili per ridurre le inerzie dei componenti ma con un elevato coefficiente d'attrito. Un esempio in tal senso è costituito dalle valvole in lega di titanio rivestite in CrN (Fig. 3).

I rivestimenti per uso tribologico ottenibili con le tecnologie PVD nel settore dei rivestimenti duri antiusura, e che sono ancora in continua evoluzione e perfezionamento, sono attualmente i seguenti:

- Rivestimenti monolayer binari: Ti₂N, CrN, ZrN, HfN, MoN, VN, WC
- Rivestimenti monolayer ternari: TiCN, TiAlN, TiHfN, TiNbN, TiZrN, CrAlN, TiCrN

- Rivestimenti multilayer: TiN+TiAlN, TiN+TiCN, TiN+Ti₂N, TiCN+TiN+Ti₂N, TiN+HfN, CrN+TiN, TiN+TiZrN+ZrN, CrN+NbN, Ti+TiN

Il rivestimento più utilizzato in applicazioni anti-usura prodotto tramite PVD è sicuramente il nitruro di titanio (TiN) che riduce il coefficiente d'attrito ed aumenta la durezza (2200HV) degli utensili.

Il carbonitrato di titanio (TiCN) presenta caratteristiche elevate di tenacità e di durezza ed un più basso coefficiente di attrito rispetto al TiN.

Il rivestimento in Nitruro di Titanio ed Alluminio (TiAlN) possiede un'elevata resistenza all'usura e all'ossidazione ad elevate temperature; inoltre l'alluminio è stato scelto per la possibile formazione di uno strato esterno di allumina (Al₂O₃)

C. Pecchio, S. De Rossi
Istituto Scientifico Breda S.p.A.

che può ridurre i fenomeni di diffusione sulla superficie rivestita e dunque diminuire l'usura per diffusione degli utensili. Per quanto riguarda la resistenza all'ossidazione, mentre il TiN inizia ad ossidarsi a temperature inferiori a 500 °C, il TiAlN inizia a ossidarsi solo a temperature oltre i 700 °C. Il TiAlN è adatto per il rivestimento di utensili nella lavorazione di materiali altamente abrasivi (ghise, superleghe, ecc.) e operazioni che avvengono ad elevata velocità di taglio.

Il rivestimento Nitrato di Alluminio e Titanio (AlTiN) è più duro rispetto al TiAlN e leggermente più duttile. Le prestazioni sono simili al TiAlN, la differenza sta nella percentuale di composizione in genere il primo metallo nel nome è presente al 70% in composizione.

Il nitrato di zirconio (ZrN) è simile al TiN ma con durezza maggiore, un coefficiente di attrito inferiore ma cresce con tensioni residue superiori a quelle del TiN ed è attualmente cresciuto in spessori inferiori ai 3 micron.

Il nitrato di cromo (CrN) è un rivestimento duttile in confronto al TiN con durezza di circa 1800HV ma estremamente più resistente alla corrosione, con un minore coefficiente d'attrito ed una maggiore resistenza all'ossidazione. E' contraddistinto inoltre da una rugosità superficiale bassa. Il CrN è adatto per la lavorazione delle materie plastiche, nelle lavorazioni ad elevata temperatura e nelle lavorazioni dove sia importante diminuire il coefficiente d'attrito o dove sia necessaria una elevata resistenza alla corrosione.

SVILUPPI DEI RIVESTIMENTI PVD

- Nuove composizioni di rivestimento in funzione delle specifiche applicazioni (mono e multistrato, anche di spessore molto elevato, superlattice)
- Ampliamento delle tipologie di materiali che si possono rivestire (Leghe di Alluminio, Polimeri, etc.)
- Combinazione di processi di rivestimento differenti (per esempio per aumentare la resistenza alla compressione di substrati relativamente teneri)
- Nuovi materiali di rivestimento "superduri" per la lavorazione di materiali "difficili"
- Messa a punto di impianti ad elevata produttività per il rivestimento di pezzi di grandi serie (attraverso l'aumento della velocità di deposizione e della dimensione degli impianti)
- Ottimizzazione della tecnologia (in termini di adesione al substrato, di aumento dello spessore del rivestimento, di abbassamento delle temperature di deposizione)
- Nuove tipologie di rivestimento resistenti alle alte temperature e con pro-

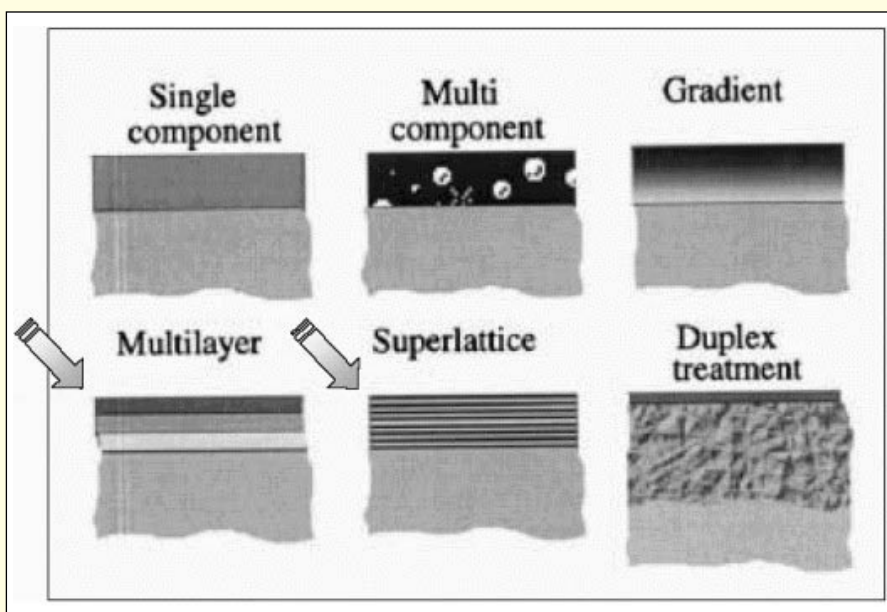


Fig. 4 – Rivestimenti PVD.

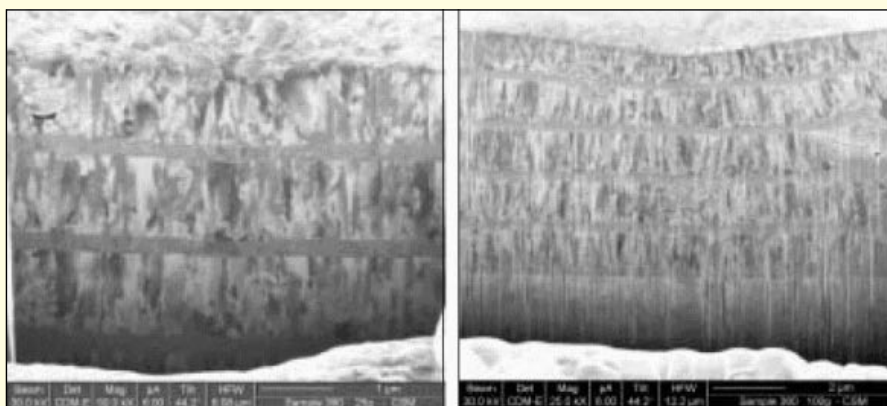


Fig. 5 – Rivestimenti Ti/TiN: sezioni ottenute mediante FIB.

prietà autolubrificanti (per es. per le lavorazioni ad alta velocità e le lavorazioni a secco)

- Eliminazione o diminuzione della produzione di difetti (microdroplets, dish like, misfits,...)
- Progressiva sostituzione di processi di rivestimento tradizionali (es. processi galvanici) con tecnologie "pulite"

I rivestimenti multistrato sono relativamente semplici da ottenere rispetto alle loro potenzialità; proprietà come durezza, resistenza, coefficiente d'attrito, resistenza elettrica etc. possono essere combinate per soddisfare le esigenze applicative.

Il trattamento duplex invece prevede la deposizione di uno strato intermedio che renda possibile la deposizione del film vero e proprio la dove il materiale non sia ideale per la deposizione prevista.

Ancora poco esplorato è invece il campo del miglioramento delle prestazioni di un rivestimento tramite l'introduzione nel monolayer di particelle o fibre.

Un esempio di funzionalizzazione di una superficie mediante un multistrato sono

i rivestimenti TiN/TiCN e Ti/TiN.

Nel caso dei rivestimenti TiN/TiCN si ottiene un aumento della durezza attraverso l'introduzione di carbonio e la struttura multistrato ha lo scopo di realizzare una adeguata transizione delle proprietà meccaniche dal substrato alla superficie. Nel caso dei rivestimenti Ti/TiN (Fig. 5) con questa architettura cerca di realizzare la riduzione delle tensioni residue attraverso l'inserimento di strati intermedi di titanio metallico, molto tenaci, con funzione di "ammortizzatori". E' possibile così depositare rivestimenti con spessori elevati (20 micron) e tensioni residue contenute.

Un modello innovativo di rivestimento prevede la deposizione di film multilayer in strati ultrasottili dell'ordine della decina di nanometri, in genere 2-20nm, il super-reticolo.

Lo sviluppo del super-reticolo nasce dalla necessità di eguagliare la durezza dei migliori rivestimenti sperimentali come il BN ed il diamante per ovviare ad altri inconvenienti che essi presentano.

I primi esperimenti iniziarono negli anni '70 alternando TiN e NbN seguendo il

Fig. 6

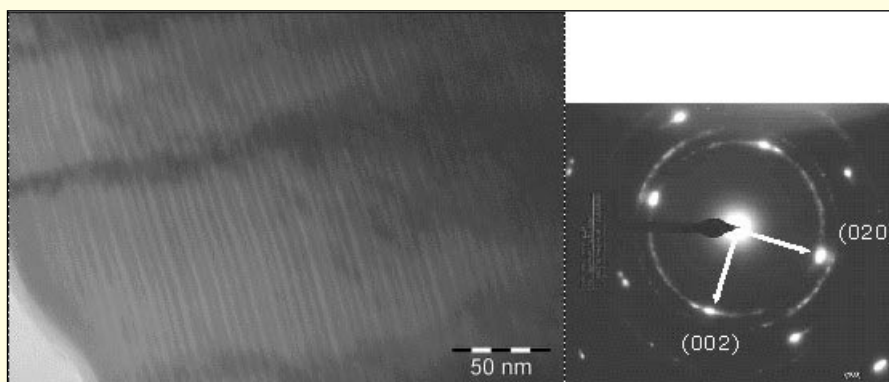
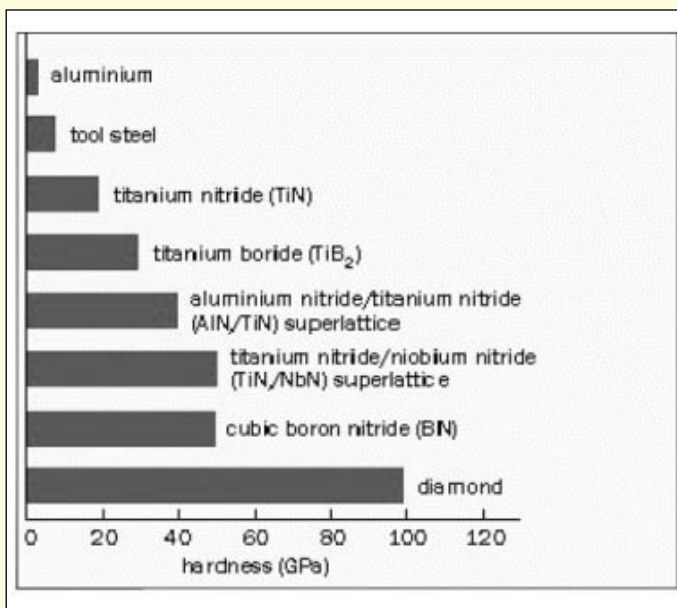


Fig. 7 - Sezione TEM e SAD rivestimento CrN/NbN.

suggerimento di Koehler che identificava nelle interfacce tra gli strati una barriera al moto delle dislocazioni che sono, soprattutto quelle lineari, le maggiori responsabili della deformazione plastica dei cristalli. Gli atomi in prossimità dell'interfaccia sono spostati rispetto alla loro posizione di equilibrio nel reticolo cristallino ed hanno un'energia di deformazione proporzionale al modulo di ta-

glio del materiale, quindi se la dislocazione si muove attraverso uno strato che ha un modulo di taglio maggiore, l'energia di deformazione aumenta. In altre parole c'è una barriera energetica che ostacola il moto delle dislocazioni nel momento in cui passano da uno strato con modulo di snervamento minore rispetto ad uno con modulo di snervamento maggiore.

Per questo è conveniente avere strati netti e limitare l'interdiffusione. Un ulteriore aumento di durezza si ha per l'effetto "coerenza", o meglio: il BN ed il diamante sono fasi metastabili, con il superreticolo si può forzare la deposizione secondo strutture non in equilibrio, ottenendo una deformazione del parametro reticolare dei due componenti del super-reticolo.

La distorsione del reticolo induce sforzi di compressione e trazione con un conseguente aumento di durezza, questo fenomeno però influisce meno rispetto all'incremento dovuto alla differenza di modulo di taglio.

Dalla fine degli anni '80 la ricerca nel campo dei rivestimenti a super-reticolo permesso di ottenere materiali con durezza di 40- 50 Gpa. Seguendo questi risultati, una grande varietà di rivestimenti a base di TiN e CrN è stata sviluppata dimostrando in parte le potenzialità mostrate dai super-reticoli.

L'elevata durezza, resistenza a frattura e l'incrementata resistenza all'usura dei super-reticoli è documentata in letteratura sia per deposizioni di tipo metallo/ceramico (Ti/TiN), sia ceramico/ceramico (TiCN/TiN).

Un esempio di rivestimento a super reticolo è il deposito composto dall'alternanza di strati di CrN e NbN studiato con lo scopo di rimpiazzare in alcune applicazioni il CrN prodotto industrialmente (Fig. 7).

Le prestazioni attese dovrebbero essere una maggior durezza grazie al super reticolo, un minor coefficiente d'attrito e di usura. Le applicazioni previste per questi rivestimenti variano dall'utensileria per lavorazioni ad elevate velocità di taglio al rivestimento per componenti automobilistici ad alte prestazioni soggetti ad elevate sollecitazioni ad elevata temperatura in ambiente aggressivo. Il super-reticolo CrN/NbN viene attualmente depositato su componenti di impianti tessili e su valvole di motori da competizione.

l'Associazione Italiana di Metallurgia vi ricorda il Sessantesimo AIM

31° Convegno Nazionale AIM

Milano, 22-23-24 novembre 2006

Quanti sono interessati a presentare memorie scientifiche dovranno proporre titolo, autore e sommario (circa 500 parole) entro il 31 maggio 2006

Per ulteriori informazioni rivolgersi alla segreteria AIM
oppure visitare il sito www.aimnet.it/convegno <<http://www.aimnet.it/convegno>> htm