

# Rivestimenti sottili nanostrutturati per il controllo dell'usura: applicazioni e limiti

D. Franchi, M. Rostagno

*Le politiche antinquinamento già attuate, e in corso di elaborazione, da parte dell'unione europea hanno avuto come effetto di sensibilizzare maggiormente alle tematiche ambientali l'industria e gli enti preposti alla ricerca e allo sviluppo di nuovi prodotti. In particolare, i settori delle lavorazioni e dello stampaggio sono direttamente interessati a queste problematiche, poiché la maggior parte delle operazioni viene effettuata con l'utilizzo di lubrificanti (olio integrale, emulsioni).*

**Parole chiave: nanomateriali, lavor. all'utensile, rivestimenti, caratterizz. materiali, tribologia, valutazione materiali**

## INTRODUZIONE

Il consumo europeo totale annuale di oli lubrificanti minerali è di circa 1.000.000 t.

La quantità di olio destinata al settore dei fluidi da taglio è pari soltanto a 77.000 t così suddivisa:

- 45.000 t sono utilizzate come olio intero
- 32.000 t sono utilizzate come emulsioni al 3%, 5% o 8% in acqua.

E' stato calcolato che la produzione annuale di emulsioni esauste provenienti dal settore delle lavorazioni è di oltre 1.500.000 t, un dato rilevante che da solo supera l'intera produzione europea di oli lubrificanti e che ha richiesto l'attuazione da parte degli utilizzatori, sotto la spinta delle normative vigenti, di una politica sistematica di raccolta e relativo smaltimento. Si consideri che tali dati non tengono conto dei lubrificanti da taglio di origine vegetale, il cui utilizzo è in continua crescita.

Si è parlato molto di lavorazioni ad alta velocità e a secco (elevata produttività e basso impatto ambientale, con eliminazione dei costi di smaltimento dei lubrificanti esausti) e molto si sta già facendo a livello di ricerca per rinnovare gli attuali processi produttivi.

Tuttavia l'intervento sull'intero processo può richiedere costi di investimento non sempre sostenibili nel breve. È, infatti, esperienza quotidiana per tutti gli addetti ai lavori del settore, che l'intervento più efficace e a basso costo è l'ottimizzazione dell'utensileria.

La nobilitazione di substrati tradizionali per utensili da taglio attraverso rivestimenti PVD nanostrutturati ha consentito e consentirà di raggiungere risultati rilevanti in termini sia di maggiore vita dell'utensile e sia di finitura superficiale (rugosità inferiore, minori tensioni residue, minori fenomeni di surriscaldamento).

## LE NANOTECNOLOGIE: PRINCIPI DI BASE

Mai come oggi la scienza dei materiali è stata così vicina al traguardo di controllare su scala nanometrica i processi

di sintesi dei materiali. Le molecole dell'acqua, gli aminoacidi e i cationi metallici in soluzioni acquose hanno dimensioni inferiori ad un nanometro.

Molecole, sistemi complessi di molecole e particelle costituiti da molteplici combinazioni di singoli atomi presentano dimensioni che possono variare dal limite appena indicato fino a cento nanometri.

Tali sistemi, chiamati in gergo tecnico "building blocks" o "mattoni fondamentali della materia", possono essere manipolati e controllati solo attraverso una profonda comprensione dei principi chimici, della termodinamica e dei meccanismi termocinetici che portano alla formazione di strutture complesse a partire da singoli atomi.

Un esempio fra tutti è la formazione delle catene di DNA a partire da aminoacidi a loro volta costituiti da semplici "pacchetti" di atomi.

Appare chiaro quindi che la ricerca in questo campo mira a rendere riproducibili in laboratorio processi naturali alla base della vita dell'uomo.

Nel corso del ventesimo secolo i principali miglioramenti nel campo dei materiali sono stati ottenuti lavorando su strutture con dimensioni del grano intorno al micron o appena al di sotto di esso. Tale capacità prevedeva la possibilità di modificare attraverso trattamenti termici o meccanici la microstruttura del materiale di partenza, con l'ausilio di inibitori di crescita di grano, in grado di bloccare termodinamicamente l'evoluzione dei fenomeni di accrescimento.

Nel passato le limitazioni principali alla costruzione di materiali "atomo per atomo" erano dovute alla mancanza di strumenti adatti alla manipolazione di tali entità e all'insufficiente risoluzione e sensibilità delle tecniche di caratterizzazione disponibili. Brillanti idee nascevano in assenza di un substrato tecnologico adeguato. I materiali nanostrutturati, infatti, e i fenomeni su nano scala possono verificarsi ed evolversi con modalità del tutto imprevedibili rispetto alla logica della usuale osservazione su microscala. In particolare diventano predominanti i fenomeni interfacciali e gli effetti quantistici, il controllo e la comprensione dei quali sono fondamentali ai fini del miglioramento delle proprietà.

Risulta quindi essenziale sviluppare una "materials nanoscience" e nuovi/riadattati processi di sintesi.

La progettazione dei materiali è stata rivoluzionata quindi dalla capacità di costruirli in modo funzionale, enfatizzando specifiche proprietà a seconda dell'applicazione finale. I rivestimenti, da questo punto di vista, rappresentano la massima espressione di tale capacità tecnologica. Se ad es-

Daniele Franchi  
Feroli & Gianotti, Div. Genta Platit, Caselette (TO)

Maddalena Rostagno  
DIAD srl, Buttigliera Alta (TO)

Memoria presentata alla giornata di studio:  
"Rivestimenti sottili per il controllo dell'usura: applicazioni e limiti",  
Milano, 23 marzo 2005

sa, sommiamo i benefici derivanti dalla avvenuta transizione dall'approccio microstrutturale a quello nanostrutturale (transizione già avvenuta nel campo dei rivestimenti) possiamo realmente pensare ad un materiale costruito atomo per atomo dall'uomo.

LE NANOSTRUTTURE

I rivestimenti nano-compositi

Lo stato dell'arte nel campo dei rivestimenti sottili è rappresentato dai coating a base alluminio, che come indicato in Fig.1, presentano durezza proporzionale al contenuto di alluminio fino ad una percentuale pari al 67%. Tale limite corrisponde ad un'inversione di comportamento e alla perdita delle proprietà sopra citate. I rivestimenti denominati TiCNAI (50%Al) e AlTiN (70%Al) ne sono un esempio.

L'evoluzione della tecnica di deposizione di film multistrato ha portato allo sviluppo di rivestimenti a nano-strati: in questo caso lo spessore di ogni singolo strato depositato è dell'ordine di qualche decina di nanometro. Tali rivestimenti sono in genere costituiti da 20 - 30 strati e presentano rispetto ai coating standard multistrato a base alluminio durezza e tenacità superiori.

I rivestimenti nanocompositi a base ceramica, descritti nel presente articolo, sono una vera e propria rivoluzione rispetto ai precedenti, poiché per la prima volta è stata sintetizzata in modo stabile una nanostruttura. Possono essere considerati una tecnologia adatta al raggiungimento degli ambiziosi obiettivi di lavorazione ad alta velocità e a secco

di materiali difficult-to-cut. Presentano, infatti, notevoli proprietà meccaniche (durezza elevatissima e comportamento a frattura che si avvicina ai materiali duttili) e buone proprietà funzionali (alta conduttività elettrica, conduttività termica elevata, sintesi di strutture ad elevata efficienza), che consentirebbero di lavorare in modo efficiente materiali difficult-to-cut sia ferrosi e sia non ferrosi.

Proprietà caratteristiche dei rivestimenti nanocompositi

I rivestimenti nanocompositi in esame sono costituiti da una matrice ceramica primaria nella quale è uniformemente dispersa una fase secondaria di dimensioni nanometriche, come illustrato in Fig.2.

I nanocristalli hanno in genere una dimensione tra i 3 e i 10 nm, mentre lo spessore dell'interfaccia è in genere inferiore ad 1 nm.

Le classificazioni fornite dalla scienza dei materiali collocano questa tipologia di nanocompositi tra gli "inter-type", nei quali la fase nanometrica dispersa si trova al bordo dei grani della fase principale. Tale struttura conferisce al coating a temperatura ambiente una resistenza meccanica e una tenacità a frattura da 2 a 5 volte superiore rispetto ai materiali monolitici.

Le composizioni adottabili sono molteplici, ma al momento le più promettenti sembrano essere quelle indicate in Tab.1.

Lo sviluppo di queste composizioni è iniziato intorno alla metà degli anni novanta, presso l'università di Monaco. Le molteplici sperimentazioni eseguite sul sistema ternario Ti-Si-N hanno permesso di individuare le fasi indicate in Tab.1, per le quali è stato possibile ottenere durezze superiori ai 50 GPa (superdurezza), elevata tenacità a frattura, modulo elastico superiore a 450 GPa e recupero elastico superiore all'80%.

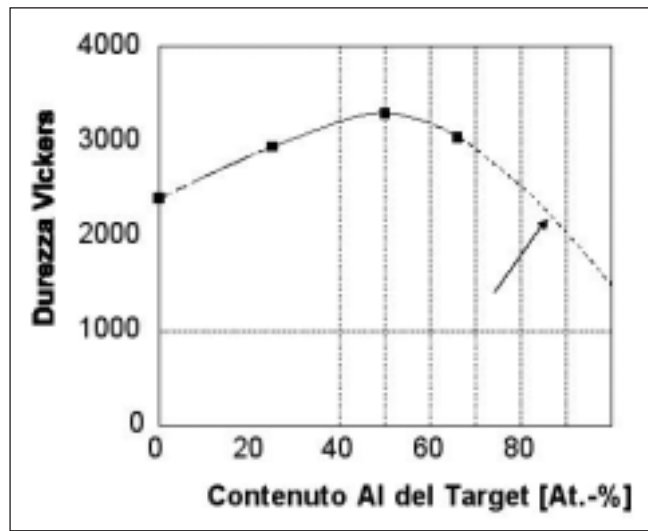


Fig. 1 - Durezza Vickers in funzione del contenuto percentuale di alluminio in rivestimenti PVD arco elettrico (Fonte: Platit).

Fig. 1 - Vicker Hardness in function of the Al content in PVD - arc electric coatings (Source: Platit).

MATRICE CERAMICA PRIMARIA	FASE NANOMETRICA SECONDARIA
$\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	TiN
$\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	$\text{W}_2\text{N}$
$\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	VN
$\text{SiNx}$	(TiAl)N
BN	TiN

Tab. 1 - Rivestimenti nanocompositi: composizioni di maggiore interesse (Fonte: Technische Universität München).

Table 1 - Nano-composite coatings (Source: Platit/Technische Universität München).

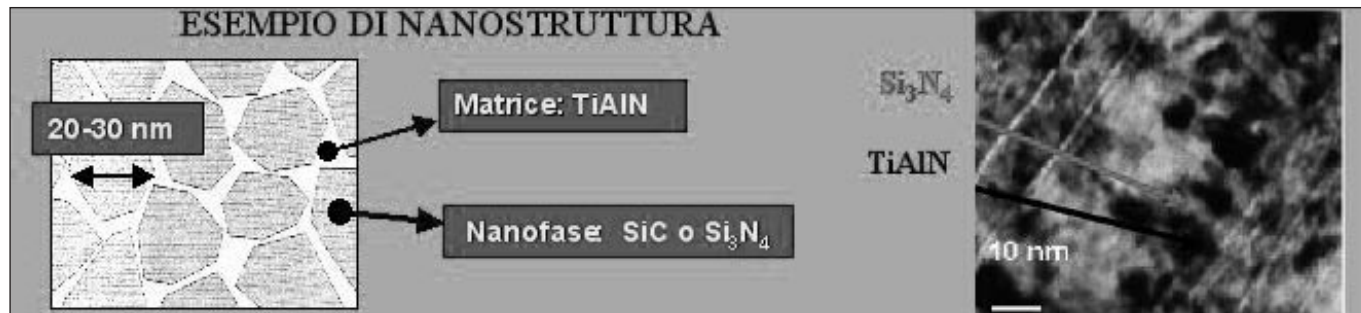


Fig. 2 - Esempi di nanostrutture: dalla teoria alla pratica (TEM) (Fonte: Technische Universität München).

Fig. 2 - Nano-structure examples: from theory to practice (TEM Analysis) (Source: Technische Universität München).

La comprensione delle cause che determinano la formazione dei nanocristalli e lo sviluppo di proprietà tradizionalmente incompatibili tra loro (elevata durezza e tenacità) costituisce una delle sfide più stimolanti per i ricercatori coinvolti nel settore.

Una delle prime ipotesi formulate attribuì la superdurezza a fenomeni di indurimento per precipitazione; ulteriori studi dimostrarono invece che, in particolari condizioni, si formano fasi nanocomposite costituite da cristalli di dimensioni così piccole da bloccare efficacemente la moltiplicazione e il movimento delle dislocazioni. Tale effetto è enfatizzato dalla forte adesione esistente all'interfaccia tra la matrice ceramica primaria e la fase nanometrica secondaria.

Come conseguenza risulta essere fortemente ostacolata la crescita di eventuali cricche, che per propagare nella matrice ceramica devono aggirare e superare i nanocristalli (tenacizzazione per deflessione).

Alla base di questo peculiare mix di proprietà vi è la capacità tecnologica di controllare i parametri di processo durante la deposizione e i relativi effetti sulla struttura in formazione. In particolare, è stato dimostrato che la qualità dell'interfaccia matrice ceramica/fase nanometrica è un fattore determinante per il raggiungimento delle proprietà volute. Esperimenti di laboratorio hanno infatti consentito di realizzare adesioni così forti da raggiungere una durezza pari a 10500 HV (nettamente superiore a quella del diamante).

In Fig.3 è visibile un'altra micrografia ottenuta al Microscopio Elettronico in Trasmissione presso il Politecnico di Losanna, nella quale sono chiaramente visibili i nanocristalli di TiAlN uniformemente rivestiti da un sottile film di Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

La grande varietà di composizioni chimiche ottenibili per i rivestimenti nanocompositi superduri deriva dall'universalità del principio di progettazione sviluppato, già a partire dalla metà degli anni novanta, dall'università di Monaco. In accordo a tale principio, qualsiasi combinazione di materiali duri (caratterizzati da un ampio margine di immiscibilità e da un'interfaccia forte) subirà una segregazione attivata da forze termodinamiche. In modo molto semplicistico, si potrebbe dire che la temperatura di deposizione deve essere sufficientemente alta per fornire l'energia di attivazione per la formazione del nanocomposito, ma deve anche essere sufficientemente bassa al fine di assicurare l'immiscibilità dei due materiali. Adattando in modo appropriato i vari parametri di processo si possono enfatizzare, oltre alla durezza, specifiche proprietà a seconda delle esigenze applicative.

Lo sviluppo di queste composizioni è iniziato intorno alla metà degli anni novanta, presso l'università di Monaco. Le molteplici sperimentazioni eseguite sul sistema ternario Ti-Si-N hanno permesso di individuare le fasi indicate in Tab.1, per le quali è stato possibile ottenere durezza superiori ai 50 GPa (superdurezza), elevata tenacità a frattura, modulo elastico superiore a 450 GPa e recupero elastico superiore all'80%.

La comprensione delle cause che determinano la formazione dei nanocristalli e lo sviluppo di proprietà tradizionalmente incompatibili tra loro (elevata durezza e tenacità) costituisce una delle sfide più stimolanti per i ricercatori coinvolti nel settore.

Una delle prime ipotesi formulate attribuì la superdurezza a fenomeni di indurimento per precipitazione; ulteriori studi dimostrarono invece che, in particolari condizioni, si formano fasi nanocomposite costituite da cristalli di dimensioni così piccole da bloccare efficacemente la moltiplicazione e il movimento delle dislocazioni. Tale effetto è enfatizzato dalla forte adesione esistente all'interfaccia tra la matrice ceramica primaria e la fase nanometrica secondaria.

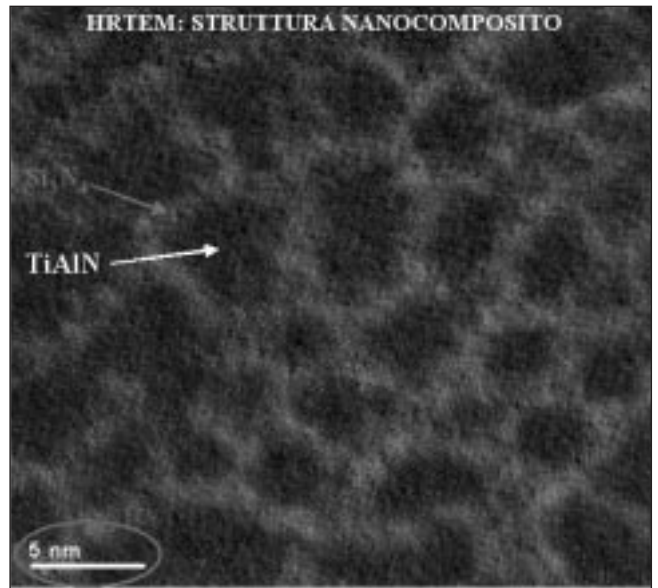


Fig. 3 – Microscopia Elettronica in Trasmissione ad alta risoluzione di un rivestimento nanocomposito (TiAlN + Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) (Fonte: Platit/Technische Universität München).

Fig. 3 – High Resolution Transmission Electron Microscopy of a nano-composite coating (TiAlN + Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) (Source: Platit/Technische Universität München)

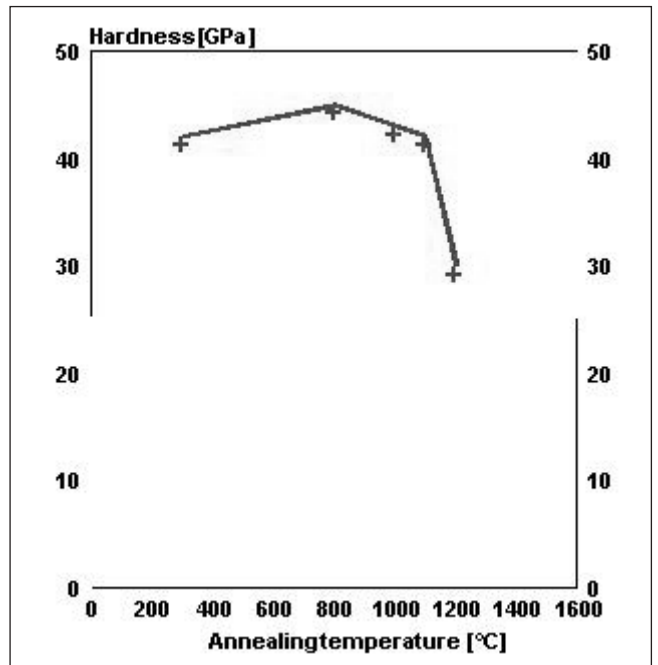


Fig. 4 – Influenza della temperatura sulla durezza di un coating nanostrutturato AlTiSiN (Fonte: Technische Universität München).

Fig. 4 – Influence of the temperature on the hardness of a nanostructured AlTiSiN coating (Source: Technische Universität München).

Come conseguenza, risulta essere fortemente ostacolata la crescita di eventuali cricche, che per propagare nella matrice ceramica devono aggirare e superare i nanocristalli (tenacizzazione per deflessione).

Oltre alle proprietà meccaniche, i rivestimenti nanocompositi sviluppati hanno la caratteristica peculiare di resistere a temperature di esercizio estremamente elevate.

In Fig.4 si può osservare come la durezza misurata a 1100°C per un rivestimento nanostrutturato del tipo AlTiSiN sia ancora pari a 3000 – 3500 HV. Tale è la durezza a



la versatilità di progettazione, che consente di formulare composizioni chimiche specifiche a seconda delle esigenze applicative. L'esperienza ha già mostrato, ad esempio, che il coating matrice SiN<sub>x</sub>/fase nanometrica (TiAl)N fornisce una maggiore vita utensile ad alte velocità di taglio, mentre il rivestimento matrice BN/fase nanometrica TiN si comporta meglio a velocità più moderate. Di conseguenza, quest'ultimo sarà più adatto alle operazioni di stampaggio a secco, dove l'usura abrasiva è dominante, mentre, laddove sia importante un'elevata resistenza all'ossidazione, sarà più adatto il primo rivestimento (asportazione di truciolo a secco e ad alta velocità).

Esistono altre soluzioni che possiedono i requisiti per lavorare in condizioni di alta velocità e a secco, ma con alcune controindicazioni.

I coating nanostratificati, ad esempio, raggiungono durezza superiori ai monostrato, ma non sono ancora stati superati valori di 40-50 GPa. Inoltre la loro deposizione introduce varabili in più nel processo di deposizione, poiché ogni singolo strato deve essere ottenuto da una differente sorgente.

Un'altra possibile soluzione è il progressivo incremento della resistenza a ossidazione dei coating a base TiAlN. È sicuramente una strada attuabile, ma si deve tener conto che sembra difficile superare durezza di 30 GPa, poiché ad elevata temperatura gli stress residui di compressione possono rilassarsi con un conseguente infragilimento.

Sono prodotti di estremo interesse, ad esempio, anche i multilayer costituiti da materiali di natura diversa, quali ad esempio strati alternati di film duro/film autolubrificante oppure film duro/film resistente all'ossidazione (es. TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Tuttavia non raggiungono i valori di durezza riscontrati nei rivestimenti nanocompositi.

L'applicazione dei rivestimenti nanocompositi come film antiusura per utensili da taglio e per stampi trova quindi una sua valida giustificazione. L'inerzia chimica e termica, unitamente alle spiccate proprietà meccaniche, potrebbero costituire finalmente il mix di caratteristiche necessario per garantire all'utensile (o allo stampo) una vita utile sufficiente in operazioni a secco e ad alta velocità anche su materiali difficult-to-cut.

Sono stati ottenuti ottimi risultati anche nella lavorazione di materiali per stampi.

Gli esempi che seguono non vogliono essere esaustivi, ma descrivere alcuni dei casi più significativi analizzati.

In Fig.7 è riportato un grafico relativo alla foratura a secco di un acciaio per stampi (HRC=52). Il materiale è stato lavorato utilizzando due diverse versioni del rivestimento Al-TiN. La linea rossa è relativa al rivestimento nella sua versione standard microstrutturata (50% di alluminio), mentre la linea nera si riferisce allo stesso rivestimento ottimizzato aumentando la percentuale di alluminio fino al 70% e deposto nella versione nanolayer (ciascuno degli strati ha uno spessore dell'ordine di qualche decina di nanometro).

L'applicazione di rivestimenti nanostrutturati per la fresatura di acciai per lavorazioni a freddo è stata effettuata confrontando diverse versioni sia del rivestimento AlTiN e sia del rivestimento nanocomposito AlTiSiN. Nel grafico in Fig.8 il comportamento dei rivestimenti è valutato misurando la lunghezza fresata.

Per quanto riguarda i coating utilizzati, in posizione 1 è riportato il comportamento di un rivestimento AlTiN (70% di alluminio) monolayer, mentre in posizione 2 lo stesso rivestimento è prodotto nella versione nanolayer.

In posizione 3 si ha il rivestimento nanocomposito AlTiSiN ottenuto graduando in modo funzionale il contenuto di alluminio a partire dal substrato fino alla superficie. In posizione 4 il coating AlTiSiN nanocomposito è prodotto nella versione multilayer.

L'analisi dell'usura delle frese permette di effettuare le seguenti considerazioni:

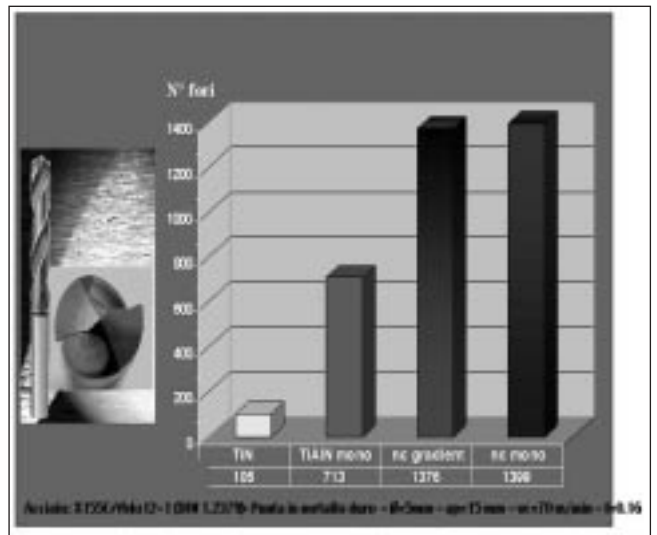


Fig. 7 – Foratura di acciai per stampi (Fonte: Platit).

Fig. 7 – Drilling of steels for dies (Source: Platit).

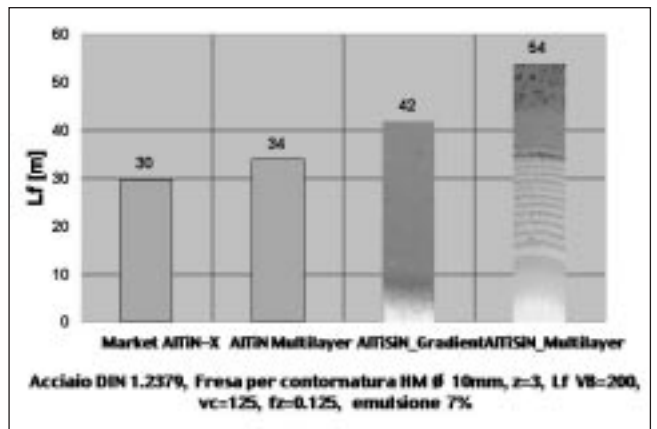


Fig. 8 – Fresatura di acciai per lavorazioni a freddo (Fonte: Platit).

Fig. 8 – End milling of cold working steels (Source: Platit).

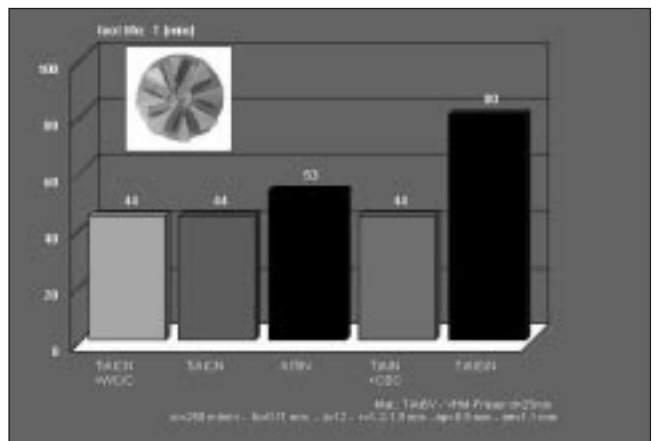


Fig. 9 – Fresatura ad Alta Velocità di Leghe di Titanio (TiAl6V4) (Fonte: Platit).

Fig. 9 – High speed milling of Titanium alloys (TiAl6V4) (Source: Platit).

- la famiglia di rivestimenti AlTiSiN consente una vita utile dell'utensile superiore ai rivestimenti di tipo AlTiN;
- la presenza di una struttura multilayer è benefica al fine di incrementare la tenacità del rivestimento e quindi la sua resistenza all'usura.

In Fig.9 sono invece riportati i risultati ottenuti durante la fresatura ad alta velocità di leghe di titanio (Ti6Al4V), tipicamente utilizzate nel settore aeronautico e aerospazio. La sessione di prove si è svolta in condizioni di laboratorio controllate e ha permesso di raggiungere una velocità di taglio di 250 m/min, estremamente elevate per la tipologia di materiale considerato.

Il grafico riporta in ascissa le prestazioni relative ai diversi rivestimenti utilizzati, mentre in ordinata si è indicata la vita utile dell'utensile (fresa in metallo duro).

Anche in questa applicazione si può osservare come l'utilizzo del rivestimento nanocomposito TiAlSiN abbia consentito di realizzare una vita utile dell'utensile nettamente superiore rispetto alle già ottime qualità di coating con cui lo si è confrontato: TiCNAl (25% di alluminio), AlTiN (70% di alluminio) e TiAlN (50% di alluminio). Nel grafico si può osservare come l'utilizzo di top layer autolubrificanti (WC/C e CBC) non abbia modificato le performance dei coating considerati.

### CONCLUSIONI

I rivestimenti nanocompositi rappresentano una delle nuove frontiere nel campo dell'ingegneria delle superfici e hanno consentito di migliorare notevolmente le prestazioni di utensili e stampi realizzati in substrati tradizionali (acciai, metalli duri, etc.)

Potenzialmente tali rivestimenti possiedono caratteristiche meccaniche e chimiche tali da essere utilizzati per la lavorazione sia di materiali ferrosi e sia non ferrosi, unendo ad una durezza prossima a quella del diamante, elevata tenacità a frattura e una resistenza all'ossidazione oltre gli 800°C.

Tali caratteristiche, solitamente intrinsecamente incompatibili, sono state realizzate per la prima volta in un materiale massivo, grazie allo sviluppo di un processo PVD completamente innovativo, che consente un controllo puntuale della composizione chimica e delle caratteristiche in situ del rivestimento depositato.

### RIFERIMENTI

1. S. Veprek, S. Reiprich and Li Shizhi, Appl. Phys. Lett. 66(1995)2540.
2. S. Veprek and S. Reiprich, Thin Solid Films 268(1996)64
3. S. Veprek, M. Haussmann and S. Reiprich, J. Vac. Sci. Technol. A 14(1996)46.
4. S. Veprek, M. Haussmann and Li Shizhi, Electrochem. Soc. Proc. 96-5(1996)619.
5. S. Christiansen, M. Albrecht, H.P. Strunk and S. Veprek, J. Vac. Sci. Technol. B 16 (1998)19.
6. S. Veprek, J. Vac. Sci. Technol. A xx (1999) September
7. P. Holubar, M. Jilek and M. Sima, Int. Conf. on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, April 1999, Surface Coatings Technol. in press.
8. R. Grün, "Economic and ecological aspects of plasma surface engineering", Surface and Coatings Technology, Vol. 60 (1993) p. 613.
9. R. Stolz (ed.), "Fast, faster, the fastest. Pros and cons of high speed machining", Modern Cutting Tools Technology, Vol 14, Gühring KG (1994) p. 21.
10. M.A. Kennicott, "Coolant management program produces 'zero waste'. Synthetic metalworking fluid and accurate testing cut costs and harmful worker exposure", Lubricants World, Vol 5, No. 2 (1995).
11. D. Jones, "Real world lubrication: Teamwork is Halliburton's key to coolants", Lubes-n-Greases, Vol 1.1, Issue 9 (1995).
12. T. Cselle, A. Barimani, "Today's applications and future developments of coatings for drills and rotating cutting tools", Surface and Coatings Technology, Vol 76/77 (1995) p 712.
13. D.Franchi, M.Rostagno, S.Durante "Rivestimenti PVD - CVD - Impiantazione ionica", Giornata di Studio Trattamenti Termici, AIM, Milano 28 Marzo 2003
14. F.Rabazzana, "Le tecniche di evaporazione in fase vapore CVD e PVD", IV Meeting Titanio, GTT, Torino, Torino 17 Novembre 1988.

### ABSTRACT

#### NANOCOMPOSITE THIN COATINGS FOR WEAR CONTROL: APPLICATIONS AND LIMITS

**Keywords:**

**nanomaterials, machining operations, coatings, materials characterisation, tribology, materials evaluation**

The market shares of the (Ti, Al)- based PVD-coatings for coated high performance cutting tools and stamping operations amount to 25- 55 % (2003 data) and it is steadily increasing year per year. The coating industry is enormously innovative and active. There are a huge numbers of tests and solutions even to improve the already outstanding features of the (Ti, Al)- coatings.

The two most important development trends for (Ti, Al)-based coatings are actually the efforts to deposit nanolayers and to increase the aluminum content.

The leading equipment manufacturers are increasing the aluminium content step by step in their latest industrial (Ti, Al)-based coatings to improve hardness, wear and heat resistance. For differentiation beyond 50% aluminium content these coating are referred as Al-TiN-coatings. Still, at some point, there is a limit: beyond 67%, 75% or even at 80% Al, further increases are neither useful nor meaningful.

Superhard Nanocomposite coatings are a radically new kind of coatings constituted by two different phases: a nanocry-

stalline TiAlN phase embedded into an amorphous Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-matrix. This structure enables extremely high hardness (40-50 GPa) maintained to high temperatures (up to ~1100 °C, even at a lower Al content (e.g. 50%). It can be extremely important for dry high performance cutting and efficient stamping operation.

To deposit nanocomposites on an industrial and economic scale, new coating equipment have to fulfil the following basic requirements: cathodes must be built in very close to each other; a highly ionized plasma must be applied (supported by a strong magnetic field), a very fast motion of the ARC track must be used.

The scientific aim is to develop a new class of materials with superhardness combined with a high toughness, oxidation resistance and chemical inertness towards the materials to be machined (various metallic alloys, wood etc.). This will be possible because of the large variety of materials which can be combined together in order to tailor the desired properties. The presently most promising materials include the nc-(TiAl)N/SiN<sub>x</sub>, nc-TiN/SiN<sub>x</sub>; other transition metal nitrides instead of TiN, TiN/BN and Ti-B-N in general, carbides and others.

Results obtained in machining of steels (drilling and milling) and titanium alloys clearly shows that nanocomposite coatings allow to increase strongly cutting tools durability and surface quality of the worked materials.