

Coating di utensili e di parti soggette ad usura
Controllo delle caratteristiche del ricoprimento

*Servizio di coating della **miniToolsCoating** (Padova)*

06.1 – I ricoprimenti

Verso la fine degli anni '70 del secolo scorso, cioè circa 40 anni fa, è iniziata l'era dei ricoprimenti con il Nitruro di Titanio (TiN) sugli utensili per asportazione di truciolo.

E' iniziata allora una rivoluzione che ha modificato, sotto alcuni aspetti, la filosofia stessa di innumerevoli tipologie di produzione di parti meccaniche.

All'inizio si ricoprivano solo inserti in metallo duro (carbide), con il metodo CVD (*chemical vapour deposition*), di cui parleremo tra breve, e dopo qualche anno si è passati a rivestire anche gli utensili in HSS con il metodo PVD (*physical vapour deposition*).

Il ricoprimento consiste nella deposizione delle superfici di utensili o di altri componenti di uno strato sottilissimo di un composto che all'origine era il Nitruro di Titanio (TiN) e che successivamente è stato affiancato da altri composti quali il Carbo Nitruro di Titanio (TiCN), il Nitruro di Titanio e Alluminio (AlTiN), Nitruro di Cromo (CrN) e molti altri ancora.

Tutti questi film, con spessore di qualche micrometro, hanno lo scopo di migliorare in modo consistente le caratteristiche fisiche della superficie, quali: durezza, resistenza alla corrosione, coefficiente d'attrito, ecc. in modo da aumentare la resistenza all'usura e quindi di incrementare la vita degli utensili o delle altre parti meccaniche sottoposte a questo trattamento.

Limitandoci a parlare solo degli utensili da taglio, i risultati sono stati talmente importanti che alcune aziende sono state costrette a diversificare la produzione perché la richiesta di utensili tradizionali è crollata a causa della loro maggior longevità.

Per parlare di un caso concreto che interessa il mondo degli ingranaggi, vediamo quello che è successo ai creatori:

Se in certe operazioni con i creatori non ricoperti si tagliavano, per esempio, 200 pezzi prima di dover riaffilare l'utensile, con il creatore ricoperto si potevano tagliare 1000 pezzi a parità di condizioni di lavoro e di usura. Ciò ha significato una riduzione dell'80% del fabbisogno di creatori.

Un caso eclatante che bene spiega questa tendenza, è quello dei creatori a lame riportate, che avevano invaso il mercato, grazie alla loro maggiore redditività, rispetto ai creatori integrali, ma che sono poi spariti rapidamente, non potendo essere ricoperti.

Entriamo quindi un po' più in dettaglio sui metodi di deposizione e sulle loro caratteristiche.

06.1.1- Metodo di ricopertura CVD

Questa tecnica trasforma gli elementi da depositare in stato di vapore e li porta a contatto del pezzo da ricoprire in un ambiente in cui la pressione è di 10 – 100 mbar e la temperatura è compresa tra gli 800 e i 1000 °C.

In queste condizioni si sviluppano delle reazioni chimiche che consentono l'adesione degli elementi alla superficie del pezzo.

Le prime, ed anche le più diffuse, applicazioni di questo metodo erano quelle della ricopertura con TiN degli inserti in metallo duro impiegati in tornitura e fresatura.

Poiché la temperatura in cui avviene il processo è relativamente alta, comunque al di sopra della soglia di rinvenimento degli acciai rapidi, questo processo è rimasto per un certo tempo limitato appunto alla ricopertura di utensili in metallo duro.

Gli acciai rapidi, quindi, non possono essere ricoperti con il metodo CVD, perché perderebbero la loro durezza alle temperature tra 800°C e 1100°C, alle quali il processo si realizza. Ulteriormente la temperatura di processo causerebbe deformazioni che potrebbero essere recuperate solo con operazioni di rettifica, che però asporterebbero anche il ricoprimento.

In sintesi il metodo CVD presenta dunque le seguenti caratteristiche:

- *ottima adesione del film su tutte le superfici;*
- *buon ricoprimento anche su forme complesse e su fori ciechi;*

- *temperature troppo alte per poter ricoprire gli acciai, quindi è limitato agli utensili in metallo duro.*

06.1.2 – Metodo di ricopertura PVD

Il grande vantaggio che ha questo metodo di ricopertura è che esso può avvenire a temperature inferiori ai 520 °C, generalmente il limite di rinvenimento degli acciai superrapidi, con in più il vantaggio che potendo avvenire anche a temperature più basse non comporta praticamente deformazioni dei pezzi trattati.

Ciò ha consentito di applicare questo processo a quasi tutti gli utensili di acciaio rapido e a componenti usati in condizioni limite nel settore aeronautico ed automobilistico.

Questa particolare tecnologia di ricoprimento si è enormemente sviluppata anche perché è un processo fisico, e non chimico, e quindi non usa reagenti di difficile smaltimento.

Riepilogando il metodo PVD ha le seguenti caratteristiche:

- *Maggiore flessibilità del processo con possibilità di ricoprire quasi ogni tipo di materiale metallico.*
- *Possibilità di ricopertura per impieghi industriali e per scopi decorativi.*
- *Assenza di variazioni dimensionali e strutturali e quindi la ricopertura viene eseguita su prodotti finiti.*
- *Assenza di problemi di carattere ecologico.*

Le ricoperture eseguite con il metodo PVD sono di vario genere e di questo se ne parlerà in seguito, tuttavia bisogna tener presente che questi differenti tipi non esauriscono le possibilità teoriche di questo sistema di deposizione, in quanto si potrebbero usare molti altri elementi coprenti su pezzi di varia natura.

L'unico vincolo sarebbe che il pezzo cioè, come si usa chiamarlo, *il substrato*, sopporti senza alterarsi le temperature del processo.

Tuttavia la più larga diffusione della ricopertura PVD, oltre al settore decorativo, è avvenuta nel settore prettamente industriale, dove sono richieste prestazioni sempre più elevate dei materiali e dove l'adozione su larga scala del ricoprimento ha portato grandissimi benefici.

Per capire quanto grande sia stato l'impatto sul mondo della meccanica a seguito dell'introduzione del ricoprimento con materiali del tipo del TiN, basti dire che esso ha stimolato l'ideazione di una nuova generazione di dentatrici ad altissima velocità, che ha permesso di ridurre i tempi di lavorazione ad una frazione rispetto alla situazione preesistente.

Il successo del processo di ricopertura PVD è dovuto, principalmente alle seguenti caratteristiche generali dello strato ricoprente:

- *grande durezza e quindi elevata resistenza all'usura e alla craterizzazione;*
- *bassissimo coefficiente d'attrito;*
- *scarsa affinità chimica con gli altri elementi, da cui deriva una buona resistenza alla corrosione e all'usura adesiva;*
- *resistenza alle temperature elevate;*
- *migliore aspetto estetico del pezzo.*



Figura N°06.1 - Carica di utensili per il taglio di ingranaggi cilindrici all'uscita dell'impianto di ricoprimento

Ma queste caratteristiche tecniche, che aumentano certamente l'efficienza degli utensili, non sarebbero sufficienti a garantire una costanza dei rendimenti, infatti è anche necessario che il film depositato (*sostrato*) sia tale che possa seguire il più possibile le deformazioni del pezzo, cioè del substrato, senza per questo danneggiarsi o staccarsi dal pezzo stesso.

I vari rivestimenti devono essere quindi studiati in modo che il coefficiente di dilatazione termica ed il modulo elastico siano vicini a quelli del pezzo da ricoprire.

Ciclo di ricopertura PVD

Il ciclo di ricopertura è formato da diverse fasi, tutte molto importanti, che dipendono molto anche dalle condizioni del pezzo da ricoprire.

Innanzitutto gli utensili devono essere assolutamente privi di bave e gli spigoli taglienti devono essere opportunamente omogenei. Ci sono diverse tecniche per raggiungere questi requisiti.

I pezzi poi devono essere perfettamente lavati, per esempio con acqua e detersivi alcalini, e qualche volta anche acidi, per eliminare eventuali ossidi. L'azione meccanica di pulitura è realizzata tramite ultrasuoni oppure getti a spruzzo.

Il risciacquo avviene con acqua demineralizzata con conducibilità controllata in microSiemens.

Infine i pezzi vengono caricati in camere a tenuta di vuoto su un giostra rotante come quella indicata nella figura N°06.1.

La camera di ricoprimento ha una pianta che schematicamente è come quella rappresentata in figura N°06.2, ma che può avere altre disposizioni, in relazione alle scelte fatte dal costruttore.

La prima fase è il riscaldamento, abbinato alla estrazione di tutta l'aria, fino ad arrivare ad un vuoto limite dell'ordine di grandezza di 10^{-4} Pa.

Questo è necessario per togliere praticamente tutta l'aria e l'ossigeno che potrebbero generare la formazione di ossidi superficiali

La temperatura può variare in funzione del tipo di ricoprimento, ma in genere è compresa tra 100 e 600 °C.

A questo punto inizia l'operazione di *ION etching*.

Essa consiste in una fase di "pulizia" in cui i pezzi vengono bombardati da ioni ad alto potenziale

Tale operazione si effettua per preparare la superficie delle parti da ricoprire, togliendo ogni più piccola impurità in modo da aumentare l'adesione dello strato ricoprente e attivare la superficie, predisponendola al rivestimento.

In pratica viene effettuato immettendo nella camera un gas inerte, tipicamente Argon opportunamente ionizzato e dirigendo il flusso di ioni contro la superficie da pulire.

Le pressioni in questa fase possono variare da $5 \cdot 10^{-4}$ a $5 \cdot 10^{-2}$ mbar, il processo avviene in un campo elettrico generato da una differenza di potenziale (bias) che può variare da 200 a 1000 V in funzione dei diversi procedimenti utilizzati.

Terminata questa fase vengono immessi nella camera uno o più gas reattivi, ad esempio azoto o acetilene, che hanno lo scopo di reagire chimicamente con i metalli vaporizzati scelti per il ricoprimento.

Le pressioni raggiunte in queste fasi vanno da $0,05 \div 5$ Pa, con tensioni di Bias variabili da 20 a 200 V.

La temperatura della camera durante la deposizione può arrivare fino a $600 - 620$ °C ed in generale, più alta è la temperatura migliori saranno le caratteristiche dei rivestimenti in termini di durezza, adesione e modulo di elasticità.

Ovviamente la temperatura deve tener conto del substrato che non deve essere danneggiato. Per esempio il limite per gli acciai super rapidi è appunto 520 °C, pena il pericolo di un certo rinvenimento. Notare che il bombardamento del materiale di apporto genera surriscaldamenti localizzati.

A questo punto si può parlare di una differenziazione dei metodi di ricopertura. Una prima tecnologia prevede di utilizzare lo sputtering per erodere, grazie ad un plasma in vuoto, il materiale dei target da depositare (nello schema di figura N°06.2 sono quattro e sono indicati dai numeri da 1 a 4).

Il materiale così eroso viene attirato verso la zona centrale in cui sono posti i pezzi da trattare. La forza che accelera gli atomi ionizzati è sempre data da una differenza di potenziale tra il catodo (target) e l'anodo (pezzi).

Questo metodo che produce una ricopertura molto fine perché esente dal fenomeno delle *droplets*, descritte più avanti, ma ha il difetto di essere molto lento e quindi costoso.

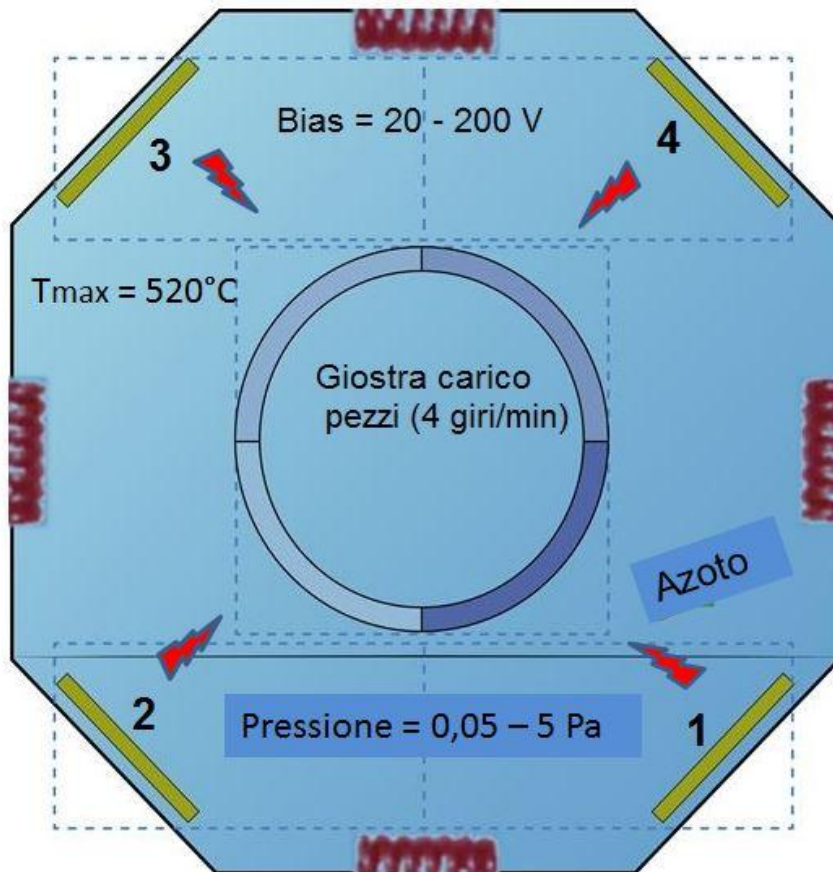


Figura N°06.2 – *Disposizione schematica della camera di ricopertura PVD*

Invece dello sputtering si usa più frequentemente la vaporizzazione del materiale del target con il metodo ad arco.

Nell'evaporazione ad arco si ha l'innesco di un arco elettrico in vuoto tra un catodo (materiale da depositare) e le pareti della camera (anodo). L'elevatissima densità di corrente (dell'ordine del milione di Ampere al millimetro quadrato) che si realizza all'interno della zona in cui è scoccato l'arco (spot catodico) causa una intensa evaporazione unita a ionizzazione del materiale in esso contenuto. La localizzazione della scarica su un'area di modeste dimensioni fa sì che la restante parte della sorgente sia al di sotto della temperatura di fusione.

I substrati da rivestire sono a loro volta polarizzati negativamente ed attirano i vapori ionizzati, accelerandoli. Si genera, in tal modo, un intenso bombardamento ionico che favorisce l'adesione del rivestimento sul substrato.

Gli ioni sono accelerati fino ad arrivare a velocità dell'ordine di $10^4 \div 10^5$ m/sec.

Questo metodo ha il notevole vantaggio di essere relativamente veloce, ma ha l'inconveniente che nella zona colpita dall'arco dove si ha la vaporizzazione e la ionizzazione del materiale asportato, si provoca anche una certa fusione dello stesso materiale formando delle piccole goccioline che vanno a deporsi sulla superficie da ricoprire. Queste gocce di materiale fuso sono i cosiddetti *droplets*, che rompono l'uniformità dello strato e quindi sono dannose. (figura N°06.3).

Le dimensioni dei droplets sono dell'ordine di $0,1 \div 10$ μm .

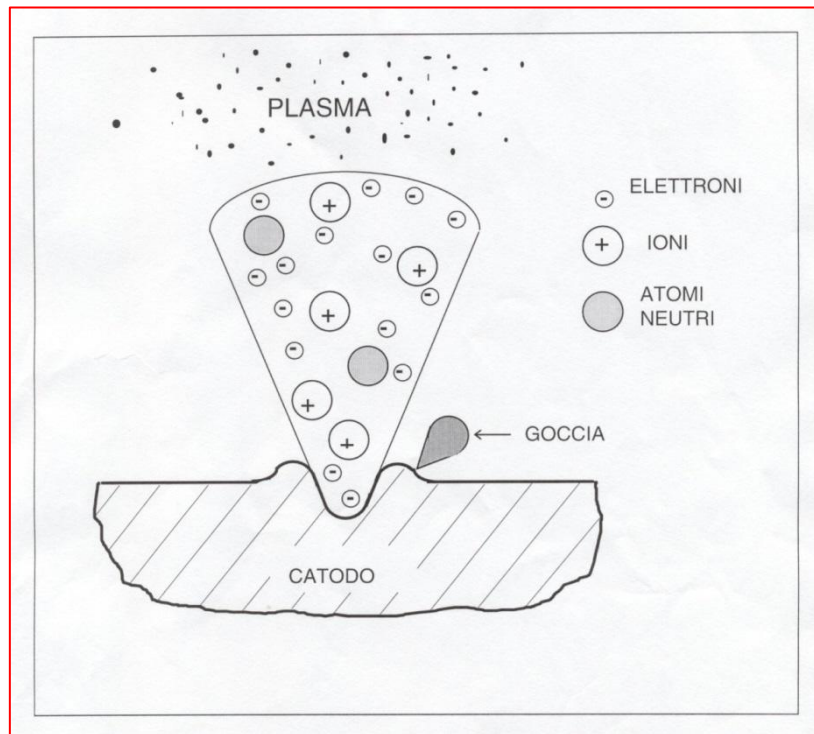


Figura N°06.3 - *Formazione delle droplets*

Il punto di contatto tra l'arco e il target viene variato in continuazione anche per avere una asportazione uniforme del materiale del target.

A proposito del materiale del target, che lo ricordiamo, è il materiale metallico che verrà depositato sui pezzi, esso può essere diverso in ogni singolo catodo posizionato nella camera.

Con riferimento alla figura 2 per esempio, nella posizione 1 potrebbe essere titanio, nella posizione 2 potrebbe essere alluminio, nella 3 cromo ecc. Gestendo opportunamente la direzione dell'arco, si potranno miscelare i vari elementi e formare dei ricoprimenti composti o multilayer con diverse caratteristiche. Sono disponibili anche target con composizioni miste, tipo titanio-alluminio, titanio-cromo, ecc., ma queste soluzioni, anche se sono più pratiche fanno perdere un po' di flessibilità al processo.

Nella figura N°06.4 sono indicate diverse possibili tipologie di ricoprimenti.

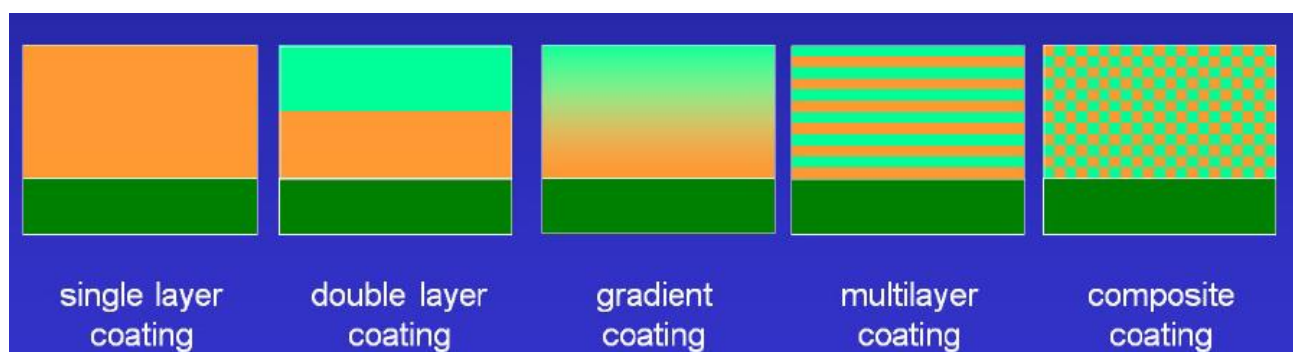


Figura N°06.4 – *Diverse tipologie di ricoprimenti*

I rivestimenti eseguiti dalla *miniToolsCoating* hanno generalmente uno spessore tra 1 e 4 micron e ricoprono perfettamente la forma delle superfici sottostanti. Gli spigoli vivi rimangono praticamente inalterati e anche la rugosità delle superfici può solo migliorare.

06.1.3 – Controllo sui rivestimenti

Il ciclo di un trattamento è gestito da un controllo numerico che usa un programma originale compilato dalla *miniToolsCoating*, per cui il processo è estremamente affidabile: tuttavia ci sono alcune fasi dell'operazione che dipendono dalla cura dell'operatore, come la pulizia e decontaminazione della camera di deposizione, il posizionamento dei pezzi, la pulizia dei pezzi, ecc. e quindi è necessario un controllo dei risultati, attraverso rigorosi test su ogni carica

Oltre ad un controllo ottico che verifica l'assenza di macroscopiche imperfezioni si esegue, su un provino che è posizionato nella camera ad ogni trattamento, l'adesione e lo spessore del film.

Per l'adesione si utilizza il cosiddetto "*Mercedes Test*" che consiste nell'eseguire un impronta con un penetratore di un normale apparecchio Rockwell. Dal tipo di impronta si riesce a capire la qualità dell'adesione.

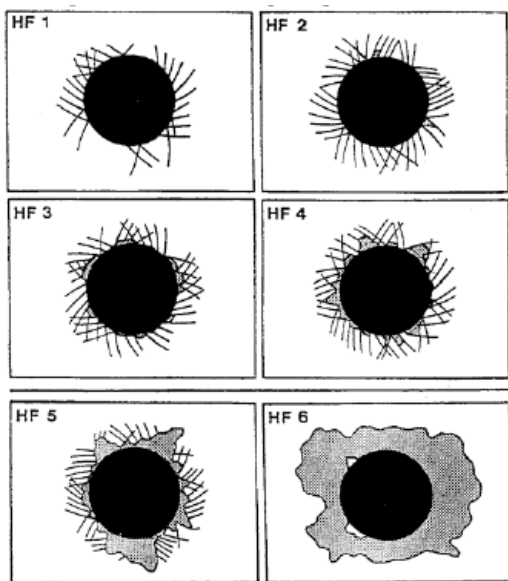


Figura N°06.5

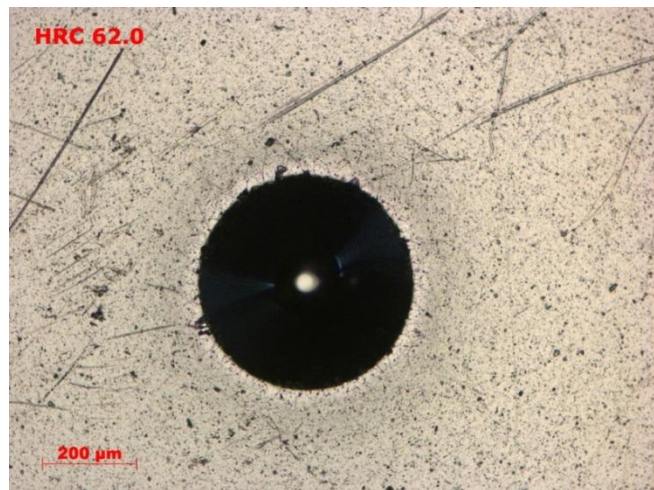


Figura N°06.6

Nella figura N°06.5 si vedono schematicamente alcune impronte caratteristiche. La qualità dell'adesione decresce dall'impronta HF1 all'impronta HF6; fino al tipo HF4 l'adesione è accettabile, le impronte HF5 e HF6 indicano adesioni non accettabili.

Nella figura N°06.6 si può vedere invece un'impronta reale di uno strato con una buona adesione.

Grande importanza per avere una buona adesione ha la fase di *etching*. E' evidente che una buona preparazione della superficie da ricoprire aumenta l'adesione degli ioni e degli atomi sulla superficie. Nella figura N°06.7 si può notare l'effetto deleterio della mancanza della fase di *etching*.

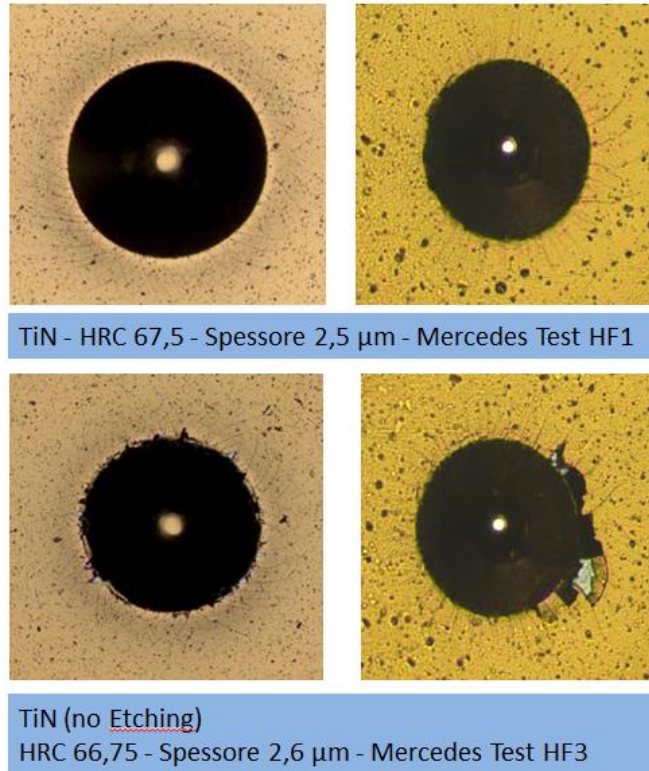


Figura N°06-7

Per verificare lo spessore del film si usa invece il “*Calo Test*”.

Una sfera viene fatta ruotare a contatto del provino fino a mettere a nudo il sostrato. Lo spessore del layer viene determinato in base al diametro della sfera e a quello dell'impronta.

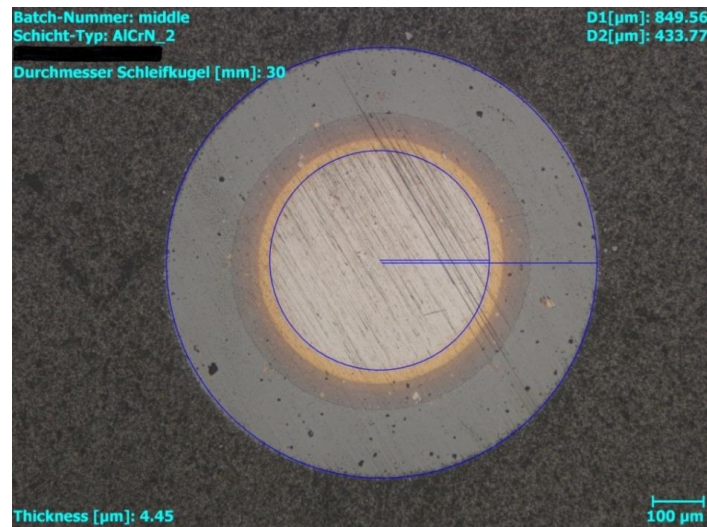


Figura N°06.8

Con i dati rilevabili dalla figura N°06.8 si ha:

- Diametro della sfera $D = 30 \text{ mm}$ ($30.000 \mu\text{m}$)
- Diametro esterno dell'impronta $D_1 = 849,56 \mu\text{m}$
- Diametro interno dell'impronta $D_2 = 433,77 \mu\text{m}$

Spessore dello strato $S = \frac{D_1 - D_2}{2 \tan \alpha}$ dove α si ricava con $\cos \alpha = \frac{D_1 + D_2}{2D}$

Con i dati rilevati si ha infatti: $\cos \alpha = \frac{849,56 + 433,77}{60000} = 0,0213888$ cioè

$$\alpha = 88^{\circ},7744$$

$$\tan \alpha = 46,74267 \quad \text{e quindi} \quad S = \frac{849,56 - 433,77}{2 \cdot 46,74267} = 4,45 \mu\text{m}$$

Questi due tipi di test comunque non sono idonei per un controllo su ricoprimenti molto sottili (nanolayers) e quindi sono stati messi a punto altri tipi di controllo, uno dei quali è lo *scratch test*.

Con riferimento alla figura N°06.9 il modo di procedere è il seguente:

Un penetratore diamantato di forma sferica del tipo usato per il controllo della durezza Rockwell viene premuto con una forza che cresce progressivamente sulla superficie da controllare mentre il pezzo da controllare si muove a velocità costante.

Durante questa fase un sensore misura:

- *L'emissione acustica*
- *La profondità di penetrazione*
- *La forza tangenziale necessaria per muovere il pezzo*

Raggiunto un certo carico critico, il film di ricopertura comincia a cedere e ciò viene rilevato oltre monitorando i tre parametri di cui sopra anche osservando la traccia con un microscopio.

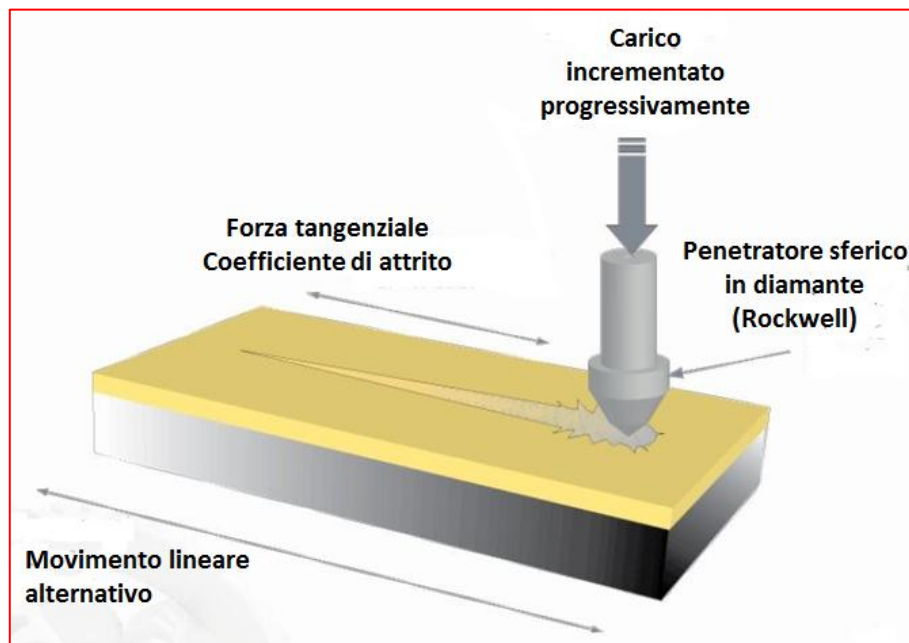


Figura N°06.9

L'analisi del comportamento dell'impronta (paragonabile ad un graffio) osservata al microscopio, permette una valutazione dell'adesione del film sul substrato.

Nella figura N°06.10 sono indicati i vari tipi di cedimento del layer e del corrispondente andamento dell'adesione.

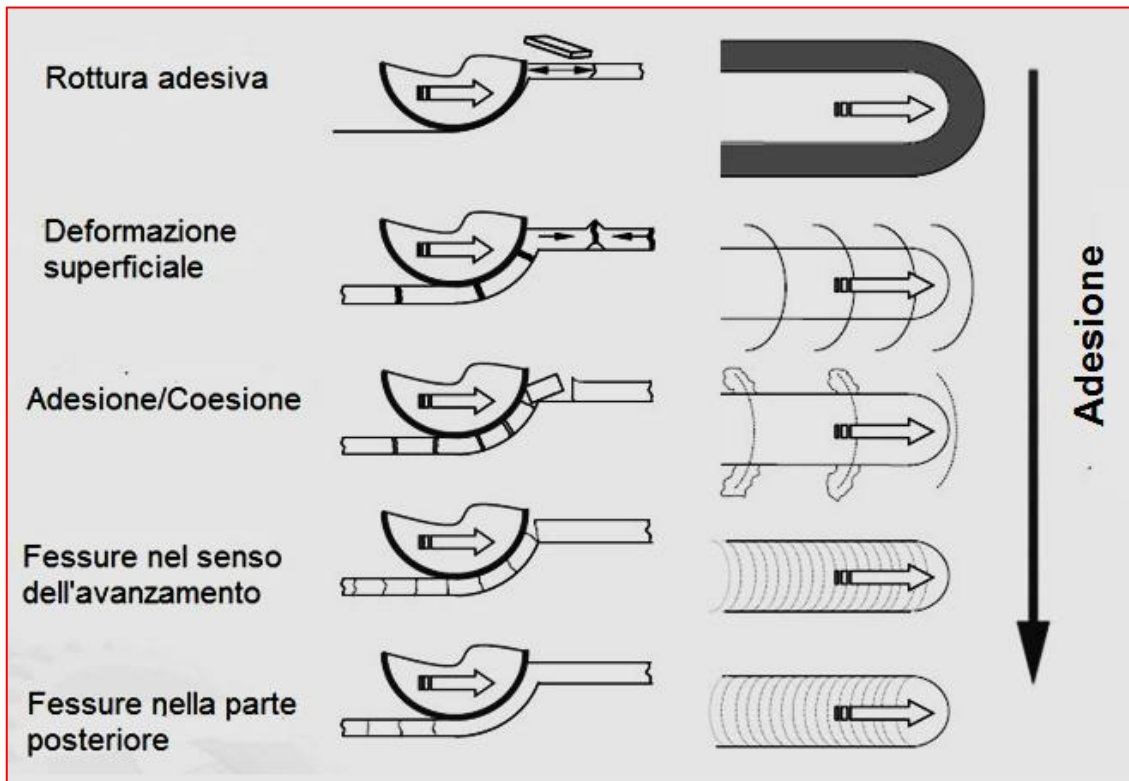


Figura N°06.10

Questo metodo di verifica dell'adesione è più preciso del *Mercedes Test*, ed inoltre, nei ricoprimenti nano-composti il *Mercedes Test* non è affidabile.

Lo *Scratch Test* è l'unico valido per verifica l'adesione su utensili in metallo duro.

Un altro parametro importante da controllare è la durezza del film di ricopertura.

Poiché lo spessore dello strato ricoprente è piccolo, non sono validi i metodi tradizionali per il rilievo della durezza, cioè Brinell, Rockwell, Vickers ecc.

Infatti, nel caso dei rivestimenti, l'attendibilità della misura della durezza dipende dal rapporto fra la profondità di misura e lo spessore del rivestimento stesso, che non dovrebbe superare 1/10, altrimenti il valore trovato potrebbe essere influenzato dalla durezza del materiale su cui il rivestimento è depositato. Nel caso di rivestimenti "tradizionali" (rivestimenti galvanici, nichelature chimiche, cromature a spessore, ecc.), in cui gli spessori sono dell'ordine del decimo di millimetro, si parla di micro-durezza (il penetratore procede per profondità di centesimi di millimetro). Nel caso di rivestimenti PVD o CVD, in cui gli spessori in gioco sono dell'ordine del millesimo di millimetro (micron), è necessario effettuare penetrazioni profonde pochi millesimi di micron (nanometri), misurando cioè la nano-durezza.

Si parla allora di rilievo della nanodurezza espressa in GPa (Giga Pascal).

Questa si basa sulla misura dell'impronta lasciata da un penetratore a forma piramidale in diamante (del tipo usato per la misura Vickers), che penetra il film per pochi nm.

In particolare si fa riferimento all'analisi della curva di carico/scarico in cui il valore di carico applicato viene riportato su un grafico in funzione della corrispondente area dell'impronta lasciata.

Dopo aver raggiunto un carico massimo predeterminato (o una profondità massima) lo stesso viene ridotto e la profondità di penetrazione decresce perché il materiale recupera elasticità. E' proprio dalla pendenza della curva di scarico che vengono determinate le proprietà elastiche. La durezza è derivata dalla profondità residua della curva di scarico

La nanodurezza, come si è detto, si misura in GPa e si ricava dalla seguente formula:

$$H_{IT} = \frac{F}{A(h_c)}$$

Dove $A(h_c)$ è l'area dell'impronta permanente, cioè quella che rimane dopo il rilascio del carico F .

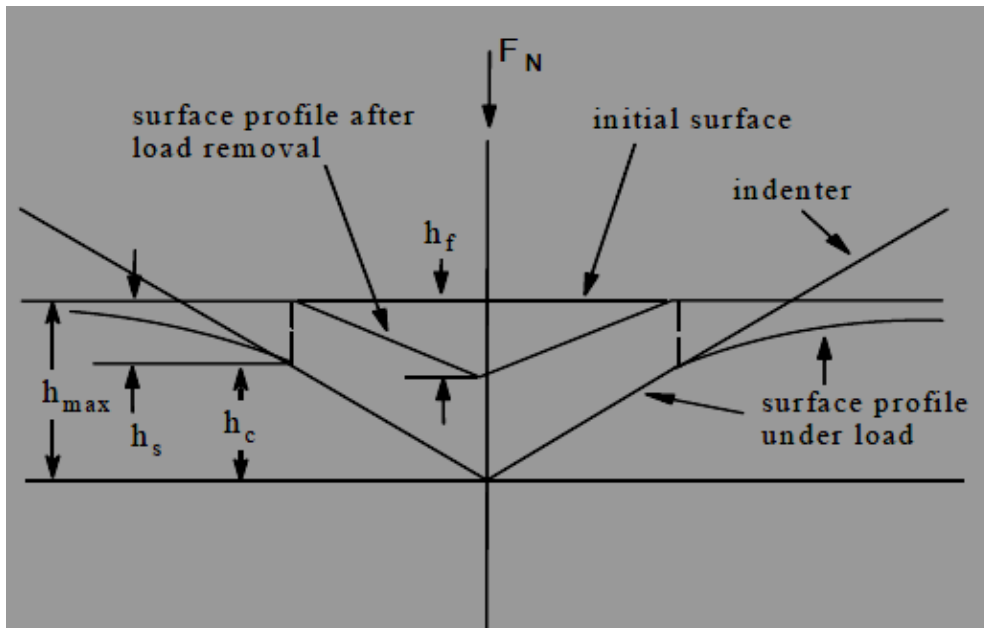


Figura N°06.11

F_N è la componente normale della forza applicata; h_{max} la profondità massima raggiunta dall'indentatore durante una misura; h_f è la profondità dell'impronta permanente dopo ogni misura; h_c è l'altezza per la quale il materiale segue la forma dell'indentatore, in pratica viene esclusa la slabbratura dell'impronta; $h_s = h_{max} - h_c$

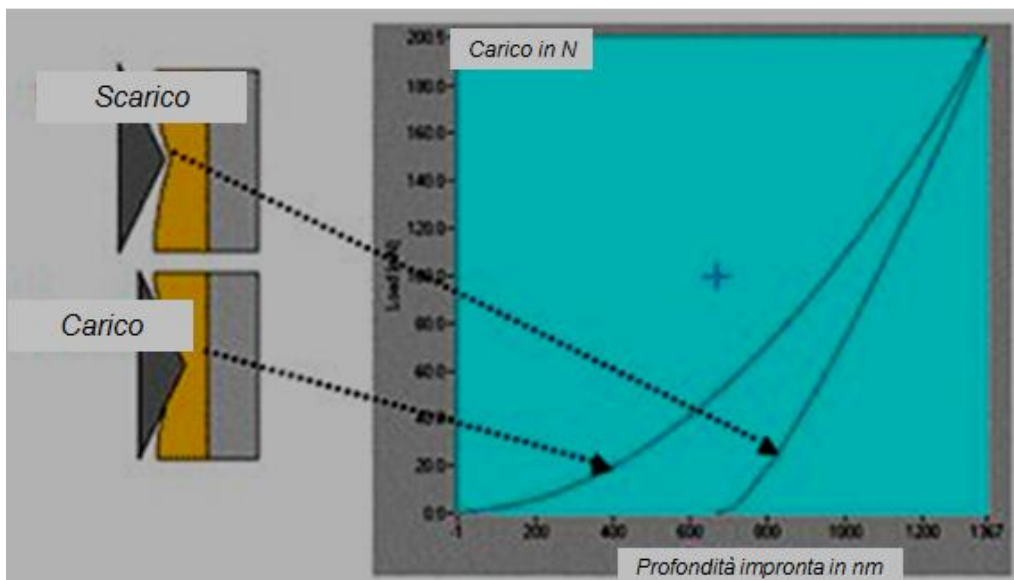


Figura N°06.12- Curve di carico e scarico della profondità dell'impronta

Come si può osservare la profondità dell'impronta permanente, nel caso rappresentato, è di poco più di 600 nanometri (0,6 micrometri).

Come esempio, nella tabella N°06.1 sono riportati i valori della nanodurezza di alcuni materiali.

Tabella N°06.1

Materiale	Nanodurezza GPa
Acciaio inox	3
DLC nelle diverse combinazioni	9 - 30
Diamante naturale	60 - 80
DLC puro	60 - 130
TiN (nitruro di titanio)	24
TiCN (carbonitruro di titanio)	31
TiAlN (nitruro di titanio alluminio)	35 - 40
TiAlCN (Carbonitruro di titanio alluminio)	28

Ma vediamo cosa è, intuitivamente, un Giga Pascal.

Letteralmente vuol dire un miliardo di Pascal.

Il Pascal è l'unità di misura della pressione, e precisamente è un Newton per metro quadrato. $Pa = N/m^2$.

E' una pressione molto piccola; tanto per rendersi conto sarebbe la pressione che esercita un etto di zucchero sparso uniformemente su un metro quadrato.

Se trasformiamo i N in Kg (forza peso) e il m^2 in mm^2 si ha:

$$GPa = 10^9 N = 10^9 \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10^6} \frac{Kg}{mm^2} = 100 \frac{Kg}{mm^2}$$

Quindi 1 GPa corrisponde a 100 Kg/mm²

Un altro esame molto importante è il controllo della superficie allo scopo di mettere in evidenza una eccessiva presenza di droplets.

Questa analisi può essere effettuata con un buon microscopio tridimensionale che possa rappresentare la superficie in forma topologica.

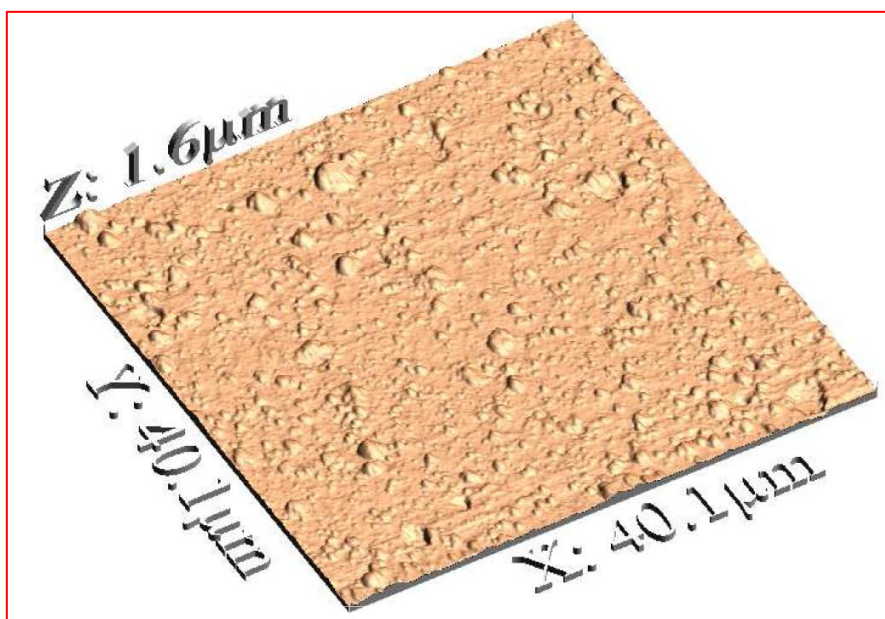


Figura N°06.13

Dalla figura N°06.13 si può avere già un'idea dello stato della superficie e della presenza di droplets,, ma ancora più evidente è la rappresentazione della stessa area in cui l'asse Z è amplificato di 10 volte. (figura N°06.14).

Ci si può rendere conto che questo controllo fornisce anche una stima della rugosità della superficie

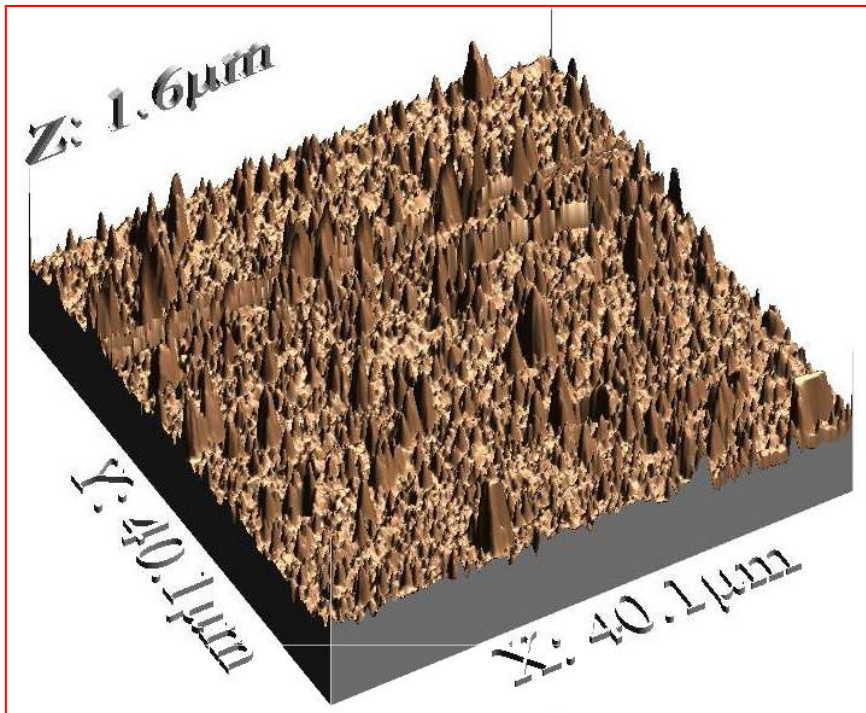


Figura N°06.14- Rappresentazione topologica della superficie con grande amplificazione dell'asse Z

Come si può facilmente capire, l'esecuzione di un buon ricoprimento ed il controllo dei risultati ottenuti è frutto di un'alta specializzazione che solo aziende che si sono dedicate in modo specifico in questo settore possono fornire prodotti eccellenti.

06.2 - Servizio di rivestimento miniToolsCoating

La *miniToolsCoating* esegue rivestimenti a film sottile in alto vuoto con tecnologia PVD. I rivestimenti PVD sono realizzati con l'impiego delle migliori e più aggiornate tecnologie. Sono il risultato di una stretta collaborazione tecnica con i costruttori degli impianti utilizzati, dell'esperienza maturata nella quotidiana collaborazione con i nostri Clienti e della professionalità del nostro personale.

Il servizio di rivestimento viene offerto ad una vasta platea di clienti che operano nei più svariati settori della meccanica. Come esempio si possono elencare:

- Settore utensileria: oltre agli utensili per la lavorazione di ingranaggi, sia cilindrici che conici, vengono ricoperti tutti gli utensili per la meccanica generale (punte elicoidali, frese, maschi, inserti ecc.) e utensili per alte prestazioni, anche in metallo duro.
- Settore degli stampi e componenti per la tranciatura e la formatura, stampi per materie plastiche, stampi per pressofusione, punzoni e stampi per la sinterizzazione. Qui bisogna evidenziare che i ricoprimenti miniToolsCoating raggiungono durezza molto elevate ed una ridotta rugosità superficiale; ciò facilita la distribuzione delle polveri permettendo di raggiungere una maggiore densità del prodotto oltre a ridurre gli interventi di manutenzione su matrici e punzoni.
- Organi e componenti meccanici che richiedono un basso coefficiente d'attrito o una forte resistenza all'usura oppure ancora una oppure ancora elementi che devono resistere alla corrosione, ecc.

In sostanza si possono adeguare le tecnologie e i materiali del ricoprimento alle più svariate necessità dei clienti.

I rivestimenti eseguiti dalla *miniToolsCoating* hanno generalmente uno spessore tra 1 e 4 micron e ricoprono perfettamente la forma delle superfici sottostanti. Gli spigoli vivi rimangono praticamente inalterati e anche la rugosità delle superfici rivestite rimane praticamente invariata.

I rivestimenti che realizziamo hanno speciali strutture e composizioni che danno alle superfici trattate le caratteristiche più idonee per le specifiche applicazioni.

Nella tabella N°06.2 sono riportate le caratteristiche fondamentali dei vari tipi di rivestimenti eseguiti dalla *miniToolsCoating*.

Tabella N°06.2

Denominazione	Durezza (HV0,05)	Spessore riportabile μm	Temperatura di deposizione	Max temper. di esercizio	Coefficiente di attrito su 100Cr6	Colore
TiN	2900	0,5 - 7	300 – 480 °C	600 °C	0,4	Giallo oro
TiCN	3200	0,5 – 3	450 °C	420 °C	0,3	Grigio blu
AlTiN nano	3200	0,5 – 4	300 – 480 °C	900 °C	0,4	Viola scuro
ComposAl	3200	2,0 – 6	450 °C	900 °C	0,6	Viola scuro
ALTICROME	3400	0,5 – 5	480 °C	1100 °C	0,35	Grigio
SILICUT	3200	0,5 – 2	480 °C	> 1100 °C	0,4	Viola
CrN	2000	0,5 – 15	250 – 450 °C	700 °C	0,3	Grigio acciaio
CBC	3200	0,5 – 5	480 °C	400 °C	0,25	Grigio scuro
CROMVIC	2000	1 - 3	250 °C	400 °C	0,15	nero

La capacità attuale degli impianti di rivestimento consentono di ricoprire pezzi che rientrano nell'ingombro massimo di un cilindro con diametro massimo di 600 mm e altezza 800 mm, con peso massimo di 500 Kg.

Di seguito si riportano le caratteristiche salienti e i campi d'impiego dei vari rivestimenti.

TiN - Nitruro di Titanio

Il rivestimento TiN è il più conosciuto ed il più utilizzato tra i rivestimenti PVD, riesce infatti a coniugare un buon valore di durezza ad una ottima tenacità ed adesione ai substrati. Il TiN è caratterizzato inoltre da un ridotto coefficiente di attrito e da una elevata inerzia chimica nei confronti dei materiali con cui è messo a contatto.

Le sue caratteristiche, che rimangono inalterate fino alla temperatura di ossidazione, permettono al TiN di venire impiegato con successo in tutte le lavorazioni ad asportazione di truciolo come anche nelle diverse operazioni di stampaggio, tranciatura e sinterizzazione.

La *miniToolsCoating* può realizzare diverse personalizzazioni del rivestimento TiN, ciascuna ottimizzata per specifiche applicazioni.

Alcuni esempi sono:

- Il TiN per le frese integrali di tipo Gleason di nostra produzione, dove la performance viene quasi raddoppiata rispetto al TiN tradizionale;
- la versione LT (Low Temperature) con temperatura di coating ridotta a 300 °C per applicazioni speciali;

- la realizzazione di un TiN con migliorate caratteristiche di resistenza alla corrosione, per particolari soggetti a permanenza in ambienti ossidanti;
- la realizzazione di un TiN particolarmente liscio per l'applicazione a punzoni dentati di sinterizzazione.

TiCN - Carbo Nitruro di Titanio

Il rivestimento TiCN è una evoluzione del TiN: in pratica viene utilizzato il Carbonio come elemento interstiziale del reticolo del TiN; questo tensiona il rivestimento aumentandone molto la durezza, ma anche la fragilità.

Il rivestimento TiCN prodotto da miniToolsCoating è caratterizzato da una particolare graduazione della percentuale di Carbonio presente nello strato, studiata per ottenere una elevata tenacità preservando la durezza caratteristica di questo rivestimento.

La presenza del Carbonio permette una riduzione del coefficiente di attrito, riduce l'affinità chimica del rivestimento nei confronti di materiale non ferrosi e aumenta la resistenza a fenomeni di corrosione. La presenza di Carbonio permette l'efficace impiego del TiCN fino a quando la temperatura di impiego raggiunge, anche localmente, i 420°C.

Viene impiegato prevalentemente su utensili in HSS per foratura, maschiatura e fresatura, in particolare per lavorazione di materiali non ferrosi, quali ad esempio alluminio o bronzo, e leghe leggere.

La miniToolsCoating realizza anche una speciale versione chiamata TiCN BRONZE, dedicata all'applicazione su creatori in acciaio per il taglio di corone in bronzo, dove l'abbinamento alla nostra riaffilatura di precisione permette un rendimento ottimale degli utensili.

E' indicato in generale nelle operazioni di tranciatura e formatura di materiali non ferrosi e lamiere con trattamenti galvanici, come per esempio lamiere alluminate, zincate o pre-stagnate.

AlTiN nano - Nitruro di Titanio e Alluminio

La sua formulazione basata su nanolayers di nitruri di titanio e alluminio conferisce a questo rivestimento caratteristiche di basso coefficiente di attrito e un'ottima tenacità, unite a un'elevata durezza superficiale.

La particolare tecnologia di deposizione (LARC® – Lateral Rotating Arc Cathods) permette di ottenere un rivestimento quasi esente da "droplets", le microgoccioline caratteristiche della tecnologia ad arco elettrico, quindi una superficie particolarmente liscia. La percentuale di alluminio molto elevata, prossima al 70%, permette la formazione di uno strato di ossido di alluminio (Al_2O_3) che crea una barriera termica efficace fino a temperature di impiego prossime ai 900°C.

Viene realizzata anche la versione LT (Low Temperature) con temperatura di deposizione ridotta fino a 300°C, per applicazioni speciali.

AlTiN nano viene impiegato su punte e frese in acciaio e metallo duro, per applicazioni generali ma anche per lavorazioni ad alta velocità di materiali ferrosi con durezza fino ai 55-56 HRC.

Le caratteristiche dell'*AlTiN nano* lo rendono idoneo anche per applicazioni a stampi per tranciatura e formatura di materiali ferrosi.

Un'applicazione particolarmente efficace è quella su stampi e punzoni per la sinterizzazione di polveri metalliche, dove l'elevata durezza e la quasi totale assenza di "droplets" permettono un migliore scorrimento delle polveri e un conseguente aumento della densità dei sinterizzati prodotti.

Il colore viola scuro di questo rivestimento lo rende idoneo anche per applicazioni decorative, dove la caratteristica resistenza alla graffiatura e l'abbinamento ad una particolare preparazione del substrato per renderlo antiriflesso, fanno di AlTiN nano un rivestimento particolarmente apprezzato.

ComposAl - Nitruro di Alluminio Titanio

Questo è un rivestimento strutturato in gruppi di nanolayers, ciascuno progettato con specifiche caratteristiche che si combinano in maniera sinergica.

Lo strato prodotto risulta essere al contempo molto duro e molto tenace, con caratteristiche invariate fino ad alta temperatura.

La rivoluzionaria tecnologia di deposizione impiegata (LARC– Lateral Rotating Arc Cathods) permette di ottenere il coating con un'ottima finitura superficiale, limitando al massimo il fenomeno di precipitazione di particelle di materiale che non ha reagito e droplets, rendendo superfluo l'impiego di costosi top-layer autolubrificanti.

L'esperienza maturata da *miniToolsCoating* nel campo dei rivestimenti PVD applicati ad utensili per ingranaggi e il contemporaneo sviluppo della nanotecnologia impiegata per la produzione dei coating più innovativi, ci hanno portato a realizzare un rivestimento specifico per l'applicazione su creatori e coltelli stozzatori.

ComposAL è un rivestimento con prestazioni eccezionali che può essere impiegato con successo sia nelle lavorazioni tradizionali realizzate su macchine meccaniche, sia nelle lavorazioni ad alta velocità (HSC) o a secco, con forte sviluppo di calore.

ALTICROME - Nitruro di Alluminio Titanio Cromo

Rivestimento nanostrutturato, molto resistente all'abrasione e alla corrosione, con elevata resistenza ad alte temperature di esercizio e ottime proprietà antiadesive.

Grazie alla sua particolare struttura si presta anche ad essere facilmente lucidato (trattamento PLUS) permettendo di ottenere una superficie particolarmente liscia e scorrevole.

ALTICROME è stato sviluppato appositamente per l'applicazione su stampi e componenti per la pressofusione di alluminio a zama, dove si affrontano elevate temperature di esercizio e fenomeni di usura per abrasione e corrosione. Il suo basso coefficiente d'attrito e le proprietà distaccanti permettono un migliore scorrimento della colata e una riduzione dei fenomeni di metallizzazione, migliorando la qualità e favorendo l'estrazione degli stampati. La manutenzione degli stampi viene drasticamente ridotta.

ALTICROME viene impiegato con ottimi risultati su creatori e coltelli stozzatori in HSS per la dentatura di ingranaggi, dove le sue caratteristiche permettono una ottimale evacuazione del truciolo anche a elevate velocità di taglio.

La possibilità di eseguire sistematicamente decoating, riaffilatura e nuovo rivestimento permette prestazioni particolarmente ripetitive e affidabili. Aspetto questo molto rilevante per le produzioni di serie.

ALTICROME è idoneo all'applicazione su stampi per tranciatura e formatura di materiali ferrosi anche alto-legati e di acciai inossidabili, su punzoni e matrici di coniatore e piegatura.

Nello stampaggio di materie plastiche caricate con fibre di vetro o carbonio viene impiegato in funzione dell'ottima combinazione di durezza, scorrevolezza e resistenza alla corrosione

CrN - Nitruro di Cromo

Rivestimento monoblocco caratterizzato da ottima adesione ai substrati e basso tensionamento strutturale.

Le sue caratteristiche sono: elevata tenacità, buona resistenza alla corrosione, proprietà antiadesive e distaccanti e ridotto coefficiente di attrito, tutto questo assieme ad una discreta durezza.

Può essere depositato a bassa temperatura, circa 250°C.

Viene utilizzato prevalentemente nello stampaggio di materie plastiche.

La bassa temperatura di deposizione e l'ottima adesione ai substrati lo rendono particolarmente idoneo all'applicazione su leghe di Rame Berillio e in generale ai materiali che non possono essere rivestiti alle normali temperature dei rivestimenti PVD.

E' indicato anche all'applicazione su utensili per asportazione di truciolo nelle lavorazioni di Rame, leghe Rame Berillio , leghe di Alluminio Titanio o Bronzo Ampco

CBC

Fa parte della famiglia dei rivestimenti DLC (Diamond Like Carbon).

CBC è un rivestimento strutturato in due strati: il primo layer è un Carbo Nitrato di Titanio con una particolare graduazione di Carbonio per rendere lo strato duro e tenace al tempo stesso; il secondo layer è uno strato di carbonio amorfo a basso coefficiente di attrito e con elevata inerzia chimica.

Le proprietà meccaniche rimangono invariate fino alla temperatura di ossidazione di 400°C.

CBC è un rivestimento che è stato appositamente sviluppato per l'impiego su creatori di grosso modulo, dove le velocità di taglio sono contenute. Permette una ottima evacuazione del truciolo e un taglio netto e brillante.

Viene impiegato con successo anche nella tranciatura e formatura di leghe leggere e più in generale di materiali pastosi.

CROMVIC - Carbo Nitrato di Cromo

Fa parte della famiglia dei rivestimenti DLC (Diamond Like Carbon).

E' realizzato con tecnologia ad arco elettrico ed è composto da un layer di adesione di Nitrato di Cromo e da uno strato di Carbonio amorfo.

Le caratteristiche principali di questo rivestimento sono il basso coefficiente di attrito e l'elevata inerzia chimica, combinate a buoni valori di durezza e ottima adesione ai substrati.

Viene realizzato alla temperatura di 250°C, questo ne amplia molto campo di applicabilità.

Nello stampaggio delle materie plastiche, anche in assenza di distaccanti. Nel trancio e formatura di leghe leggere e in generale di materiali pastosi.

Viene utilizzato frequentemente per rivestire organi meccanici di vario tipo, come ad esempio estrattori per stampi, carrelli e centraggi di stampi, alberi a camme, valvole e altro, dove la riduzione dell'attrito è fondamentale.

SILICUT - Nitrato di Alluminio Titanio Silicio

SILICUT è un rivestimento nanostrutturato, ottenuto per inglobamento di nanocristalli di nitrati di Titanio ed Alluminio in una matrice di nitrato di Silicio.

La matrice forma un sottilissimo film attorno ai nanocristalli di AlTiN, funge da interfaccia forte e dona al layer una struttura tipica dei materiali compositi.

L'elevata percentuale di Alluminio presente nello strato permette la formazione di una barriera termica efficace fino ad oltre 1100°C. Il Silicio, presente in percentuali differenziate nello strato, comporta la formazione di un rivestimento ceramico con elevata durezza, basso coefficiente di attrito ad altissima resistenza all'usura abrasiva.

SILICUT è stato sviluppato per l'applicazione ad utensili per asportazione di truciolo in metallo duro, impiegati in lavorazioni di finitura ad alta velocità, anche a secco e anche di materiali temprati fino a 64 HRC.

Ottimi risultati si ottengono nell'applicazione a punzoni in acciaio e metallo duro per imbutitura e deformazione di materiali ferrosi.

Vengono eseguiti rigorosi controlli su ogni carica negli impianti di rivestimento anche se il ciclo di un trattamento è gestito da un controllo numerico che usa un programma originale compilato dalla miniToolsCoating.

Tuttavia ci sono alcune fasi dell'operazione che dipendono dalla cura dell'operatore, come la pulizia e decontaminazione della camera di deposizione, il posizionamento dei pezzi, la pulizia dei pezzi, ecc. e quindi un controllo dei risultati è necessario.

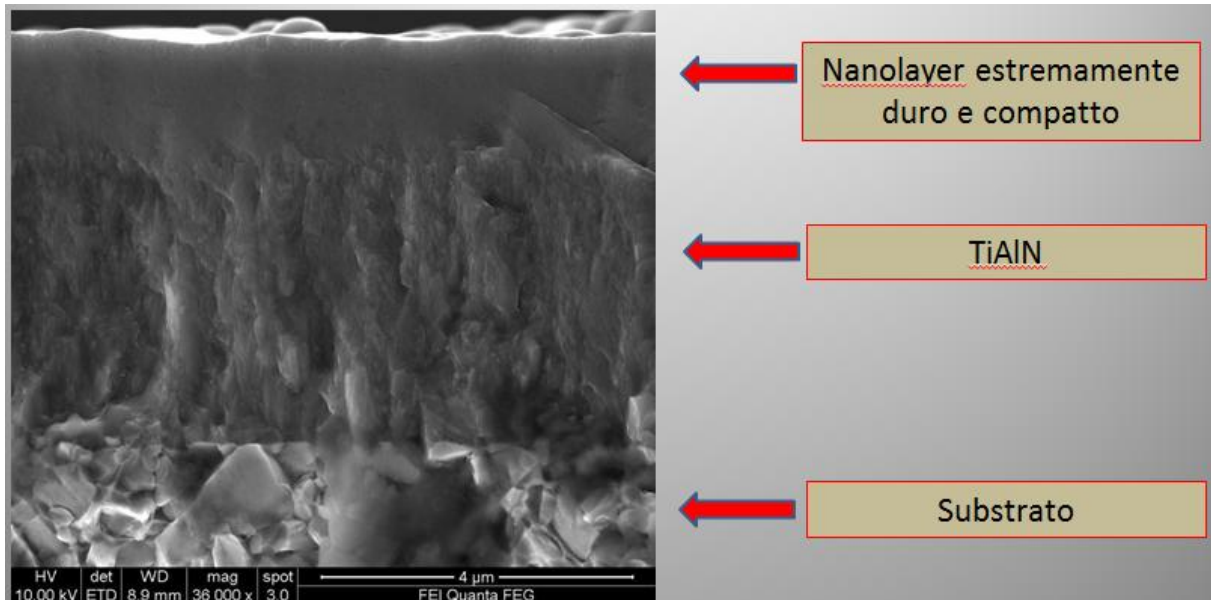


Figura N°06.15