

# I rivestimenti per il terzo millennio: possibilità e prospettive

G. Faruffini

*L'inizio del terzo millennio coincide con i 25 anni dei rivestimenti PVD ed i circa 40 dei rivestimenti CVD. In questo arco di tempo, tutto sommato abbastanza breve, i rivestimenti in alto vuoto hanno compiuto un cammino estremamente veloce e di eccezionale espansione.*

*Il loro impiego, in origine limitato al settore degli utensili per lavorazioni meccaniche, si è rapidamente esteso a quello degli stampi e punzoni per la lavorazione della lamiera e del filo metallico, per lo stampaggio delle materie plastiche, e per la pressofusione delle leghe di zinco e di alluminio.*

**Parole chiave: rivestimenti, tribologia**

## INTRODUZIONE

Più recentemente si è prepotentemente affermata una applicazione del tutto innovativo e che si pone come il più attraente sviluppo per i prossimi anni: il rivestimento di componenti di alta precisione destinati ad operare in condizioni di elevati attriti e carichi meccanici.

L'esempio più eclatante di questa applicazione è il rivestimento di diversi componenti del sistema di iniezione diesel noto come "common rail", che ha permesso la realizzazione di una nuova concezione di motori diesel ad altissime prestazioni e livello praticamente nullo di emissioni in atmosfera, tanto da essere omologati per le assai restrittive norme antinquinamento E3 e le ancora più rigide e futuristiche E4. Dai tradizionali rivestimenti in nitruro di titanio della prima generazione si è passati via via a tipi sempre più performanti e tecnicamente complessi, come i bimetallici ed i pluristrato. E le notevoli risorse investite nella ricerca e sviluppo da parte delle aziende leader del settore sono la premessa per l'ottenimento di sempre nuove tipologie di rivestimento necessarie per far fronte alle crescenti esigenze del mercato.

## RIVESTIMENTI INNOVATIVI

Tra i rivestimenti presentati nella fig. 1 (che rappresentano praticamente "l'universo" dei rivestimenti oggi interessanti a livello industriale) possiamo considerare realmente "innova-

tivi" quelli basati su TiAlN (nitruro di titanio alluminio), su carbonio amorfo, su combinazioni di questi elementi, nonché quelli in diamante policristallino.

La presente memoria prenderà in considerazione proprio questi tipi di rivestimento (non essendo possibile per comprensibili motivi di riservatezza fare anticipazioni su progetti di R&S attualmente in corso presso le principali aziende di rivestimento), nonché le problematiche connesse con i relativi processi di esportazione.

## PLURISTRATO o MONOSTRATO

L'avvento dei rivestimenti a base TiAlN ha coinciso con l'avvento dei rivestimenti cosiddetti "pluristrato" (fig. 2) che in quel momento sembravano la soluzione ideale per ogni problema.

In effetti la riduzione degli stress interni tipica dei rivestimenti pluristrato rende possibile la deposizione di strati relativamente più elevati, con sicuri vantaggi in quelle applicazioni dove effettivamente le prestazioni degli utensili sono proporzionali allo spessore dello strato di rivestimento.

Ma non sempre questa è la situazione: anzi in alcune specifiche situazioni i rivestimenti pluristrato si sono verificati decisamente meno efficaci di quelli monostrato: tipici i casi delle lavorazioni ad alta velocità (High Speed Cutting) e della fresatura di acciai temprati a durezza anche superiori ai 60 HRC (Hard Cutting) dove un tipo di rivestimento mono-

	PROPRIETA' DEI RIVESTIMENTI BALINIT							
	Balinit A TiN	Balinit B TiCN	Balinit C WC/C	Balinit D CrN	Balinit X.TREME TiAlN	Balinit FUTURA TiAlN	Balinit Diamond ***	Balinit Hardlube TiAlN circa 2600 WC/C circa 1000
Durezza HV (0,05)	2300	3000	1000	1750	3500	3000	> 8000	TiAlN circa 2600 WC/C circa 1000
Coefficiente di attrito su acciaio (a secco)	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4	0,4		0,2
Spessore (µm)	1 ÷ 5	1 ÷ 5	1 ÷ 4	1 ÷ 4 /10	1 ÷ 3	1 ÷ 5	4 ÷ 6	2 ÷ 6
Temperatura massima di esercizio (°C)	600 °C = 1100 °F	400 °C = 750 °F	300 °C = 570 °F	700 °C = 1300 °F	800 °C = 1470 °F	800 °C = 1470 °F		800-1000° C
Temperatura di deposizione	< 500° C	< 500° C	< 250° C	< 500° C	< 500° C	< 500° C	< 850° C	< 500° C
Coefficiente di espansione termica (10 <sup>-6</sup> /°k)	9,4	9,4		13				
Colore	giallo-oro	grigio-Blu	grigio-nero	grigio-argento	grigio-porpora	grigio-viola	nero	grigio - scuro

\*\*\* depositato con metodo di PACVD (Plasma Assisted CVD)

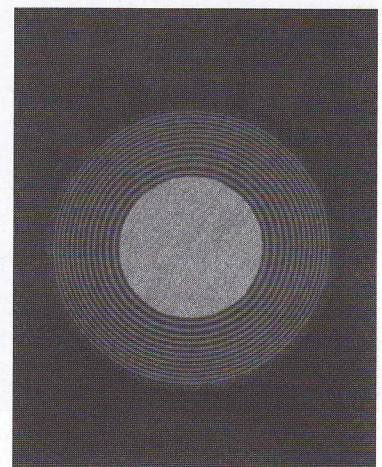


Fig. 1 - Proprietà dei rivestimenti Balinit.  
Fig. 1 - Properties of Balinit coatings.

Fig. 2 - Struttura pluristrato di Balinit Futura.

Fig. 2 - The multilayer structure of Balinit Futura.

G. Faruffini

Balzers S.p.A., Brugherio - MI

Memoria presentata la 28° Convegno Nazionale AIM, Milano, 8-10 novembre 2000

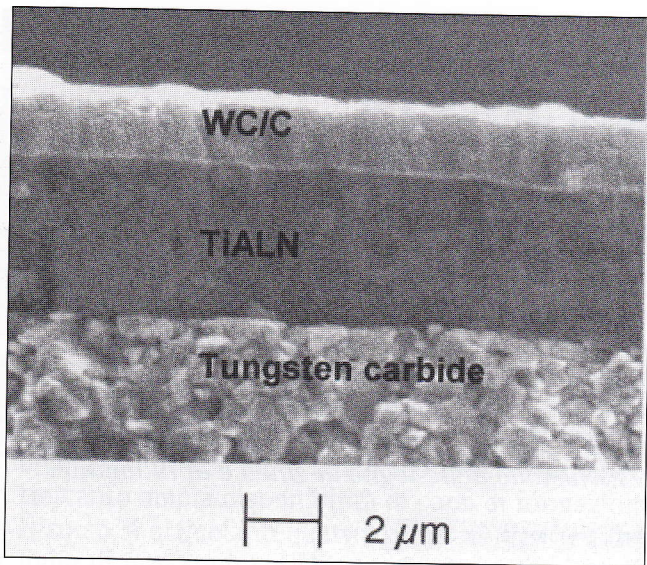


Fig. 3 Struttura di Balinit Hardlube .

Fig. 3 Balinit Hardlube structure.

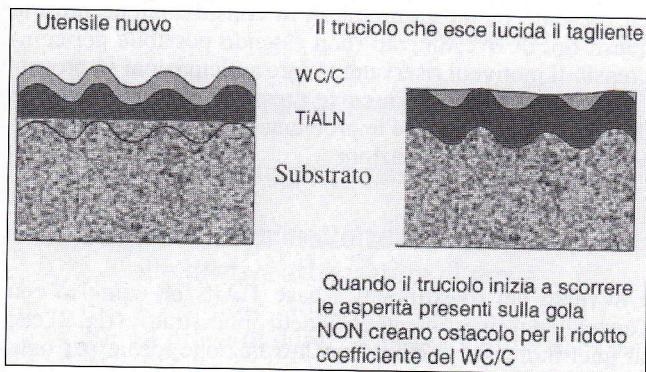


Fig. 4 Comportamento dello strato autolubrificante del nuovo rivestimento.

Fig. 4 Self lubricating behaviour of Balinit Hardlube.

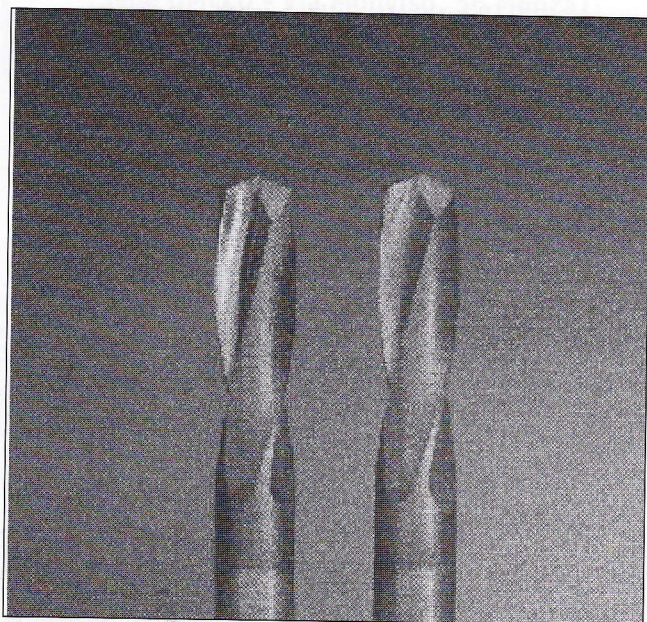


Fig. 5 Confronto tra una punta rivestita TiN (destra) ed una rivestita Balinit Herdlube (a sinistra) dopo lo stesso numero di fori.

Fig. 5 Comparison between a TiAlN coated twist drill (right) and a Balinit Hardlube coated one (left) after the same number of holes.



Fig. 6 A sinistra truciolo ottenuto utilizzando una punta rivestita Balinit Hardlube, a destra truciolo ottenuto da punta rivestita TiAlN.

Fig. 6 Chip produced by a Balinit Hardlube coated twist drill (left) compared with chip produced by a conventionally coated tool.

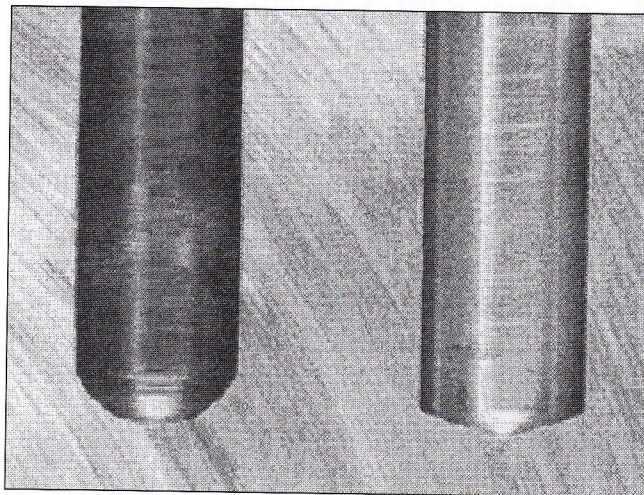


Fig. 7 Qualità dello stesso foro (a parità di numero di fori eseguiti) ottenuto con una punta rivestita TiAlN (sinistra) e con una rivestita Balinit Hardlube .

Fig. 7 Difference in quality of holes after the same job: left, quality produces by a conventionally coated tool; right, quality produced by a Balinit Hardlube coated tool

strato (Balinit X.treme) si è decisamente rivelato la soluzione ideale.

Totalmente diversa la situazione dove la tecnica del rivestimento pluristrato permette di depositare con un unico processo tipi di rivestimenti diversi che, combinando le rispettive caratteristiche, permettono di ottenere prestazioni non altrimenti ottenibili.

E' questo il caso del rivestimento Balinit Hardlube (fig. 3), composto da strati di TiAlN e di WC/C, che permette di combinare gli effetti positivi dei rivestimenti duri e resistenti al calore (TiAlN) con quelli dei rivestimenti sostanzialmente antiattrito (WC/C).

In sostanza il rivestimento TiAlN mostra i suoi effetti positi-

Fig. 8 Tipi di metallo duro idonei per il rivestimento BALINIT DIAMOND.

	Materiale idoneo per la lavorazione di:			
	Grafite Platino	"Greens"	Rame, ottone, leghe di Al	CFK, GFK, MMC
Sandvik H05	•	•	•	•
Widia THM	•	•	•	•
Extramet EMT 806	•	•	•	
Plansee Tizit TSM10	•	•	•	
Plansee Tizit TB20	•	•	•	
Plansee Tizit TSM01	•	•	•	
Plansee Tizit TSF10	•	•	•	
Sandvik H13A	•	•	•	
Kennametal Hertel K10	•	•	•	
Sandvik H6N	•	•	•	
Cerametal MG06	•	•	•	
Cerametal HC20	•	•	•	
Cerametal D1	•	•	•	
Cerametal HC10	•	•	•	
Guhring DK120	•	•	•	
IHLE K10T	•			
Extramet EMT100	•			
Cerametal MG12	•			
Sandvik H10F	•			

Fig. 9 Limiti dimensionali per il rivestimento BALINIT DIAMOND.

• Diametro ≤ 6	Lunghezza totale 250 mm	Lunghezza rivestibile 150 mm
• Diametro ≤ 10	Lunghezza totale 200 mm	Lunghezza rivestibile 130 mm
• Diametro ≤ 16	Lunghezza totale 200 mm	Lunghezza rivestibile 120 mm

Fig. 9 Dimensional limitations in BALINIT DIAMOND coating.

Fig. 10 Proprietà dei rivestimenti Balzers a base carbonio amorfo.

Proprietà	Balinit C	Balinit CPlus	Balinit DLC
Durezza (Gpa)	10	15	20 -35
Adesione	HF1	HF1	HF1-2
Coefficiente di attrito (a secco su acciaio) 30N	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1 - 0.2
Test tribologico con carico elevato (valori indicativi)	1	2	100 - 150
Temperatura di processo	< 250°C	< 250°C	
Coefficiente di usura	5 - 7	3 - 4	0.1 - 0.5
Stess interni	Basso	Basso	Alto

Fig. 10 Properties of Balzers carbon based coatings.

vi (resistenza al calore, resistenza all'usura per craterizzazione, effetto "barriera termica", elevata durezza a caldo) sul filo tagliente, cioè dove si generano elevate temperature e dove il carico di lavoro asporta immediatamente il più tenero WC/C.

Questo invece agisce sostanzialmente nella gola dell'utensile (fig. 4) andando a "riempire" le cavità lasciate dalla rettifica (ammesso ovviamente che questa sia eseguita in modo corretto e la rugosità superficiale si mantenga entro limiti ristretti dell'ordine dei 0,2-0,4 um) generando così una superficie molto liscia (fig.5), tale da rendere praticamente superflue le costose operazioni di lucidatura della gola che erano fino ad ora l'unica soluzione al problema della facilitazione dello scorrimento del truciolo.

Ne consegue che l'impiego più tipico di questo innovativo rivestimento si abbia in tutte quelle operazioni di lavorazione meccanica dove il problema principale è costituito proprio dalla evacuazione del truciolo.

Citiamo come esempio la foratura di fori ciechi e/o profondi soprattutto se a secco o con lubrificazione a spruzzo o "minimale".

L'elevato controllo del processo di generazione del truciolo reso possibile dal rivestimento Balinit Hardlube è dimostrato in fig. 6.

La fig. 7 mette in evidenza la miglior qualità dei fori ottenuti con punte rivestite Balinit Hardlube per effetto del minor

calore generato

Anche in maschiatura questo tipo di rivestimento ha dato prestazioni di notevole rilievo, ma in questa applicazione non di rado è necessario intervenire sulla geometria dell'utensile, modificandola opportunamente, al fine di ottenere le menzionate prestazioni

Un ulteriore e molto interessante campo di applicazione è costituito dal rivestimento di creatori destinati a lavorare (a secco o anche con lubrificazione) a velocità di taglio molto elevate (non inferiori ai 180-200 metri al minuto).

#### IL RIVESTIMENTO IN DIAMANTE POLICRISTALLINO

Ottenere films di diamante policristallino con le tecniche dell'alto vuoto è stato per molti anni il sogno di tutte le aziende operanti nel campo del rivestimento.

Oggi questo sogno è divenuto realtà industriale grazie ad un innovativo processo realizzato con le tecniche dei PECVD (plasma enhanced CVD), a temperature non superiori agli 850°C che evitano le pericolose perdite di tenacità nel metallo duro caratteristiche di trattamenti effettuati attorno ai tradizionali (per il CVD) 900-1000°C.

Lo sviluppo è stato molto lungo e difficile ed è avvenuto "a piccoli passi", aumentando progressivamente il numero dei tipi di metallo duro rivestibili, le tipologie dei materiali la-

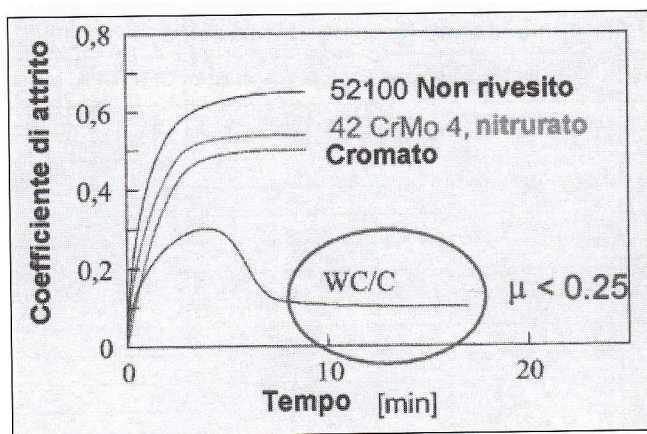


Fig. 11 Coefficienti di attrito misurati con la prova "pin on disk".

Fig. 11 Friction coefficient of different materials measured by "pin on disk" test.

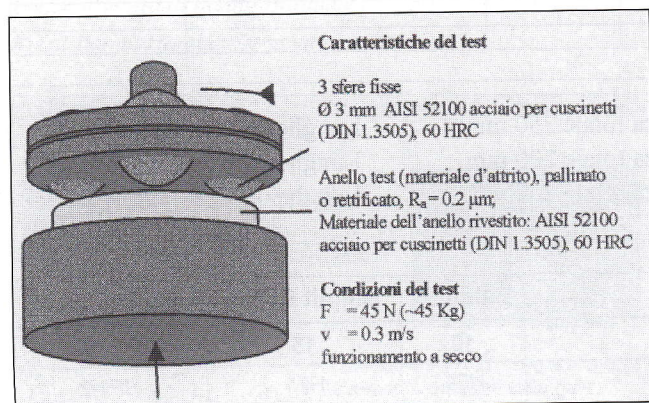


Fig. 12 Prova "pin on disk".

Fig. 12 Specifications of the "pin on disk" test.

vorabili, nonché superando con il tempo molte limitazioni dimensionali.

Le principali applicazioni di questo tipo di rivestimento riguardano la lavorazione di grafite, platino, rame, "greens" ceramici, materiali a matrice composita (MMC) e leghe di alluminio-silicio (con Si < 12%).

Si noti però che non tutti i tipi di metalli duri rivestibili in diamante sono idonei per la lavorazione di tutti i materiali sopra elencati. La fig. 8 riassume molto bene questi concetti. In fig. n. 9 sono presentati gli attuali limiti dimensionali per il rivestimento Baintit Diamond,

Una ulteriore limitazione ancora esistente nell'uso del rivestimento in diamante è data dalla impossibilità di effettuare l'asportazione e successivi riporti.

#### RIVESTIMENTI A BASE CARBONIO AMORFO

Si tratta certamente dei rivestimenti destinati ad avere i maggiori sviluppi nel corso dei prossimi anni per l'ampiezza dei mercati dove possono trovare impiego (utensili per lavorazioni meccaniche, ma soprattutto stampi e componenti di alta precisione destinati a lavorare in condizioni di elevati attriti e carichi meccanici).

La fig. n. 10 presenta i tipi oggi esistenti sul mercato con le rispettive caratteristiche. Tra questi, Baintit C e Balinit DLC hanno già applicazioni consolidate, mentre Balinit C Plus è di recentissima introduzione e si differenzia dal più consolidato predecessore per effetto della maggior durezza (e quindi maggior resistenza all'usura), a parità di caratteristiche di coefficiente di attrito.

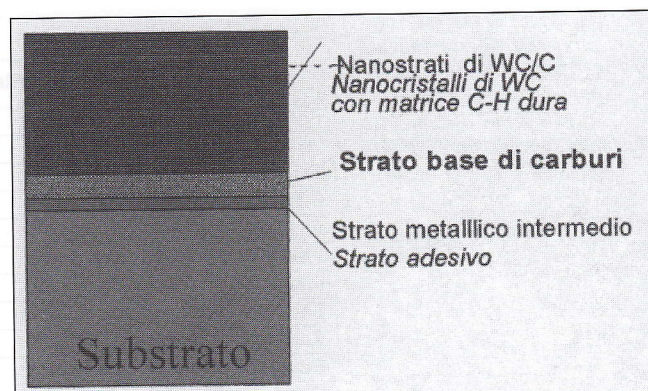


Fig. 13 Struttura di BALINIT C.

Fig. 13 Structure of BALINIT C.

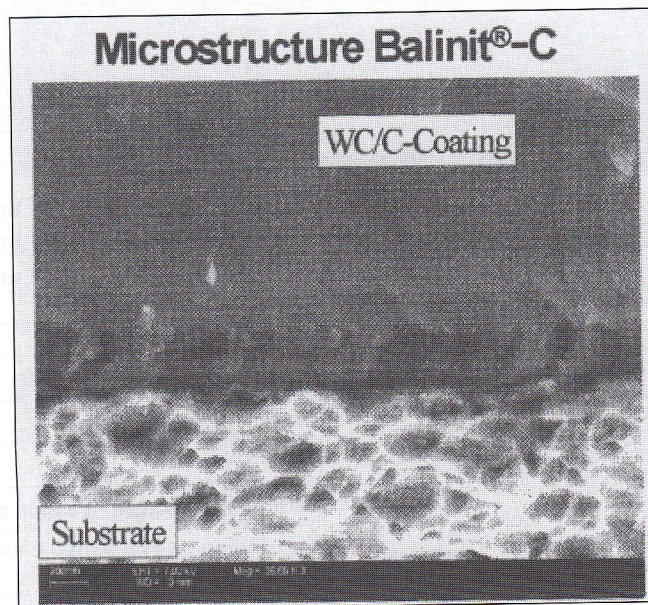


Fig. 14 Microstruttura di BALINIT C (36.65 KX).

Fig. 14 Microstructure of BALINIT C (36.65 KX).

La fig. n. 11 evidenzia le caratteristiche di antiattrito tipiche dei rivestimenti a base WC/C, valutate con la prova di "pin on disk" presentata nella fig. n. 12.

La fig. 13 mostra la struttura di Balinit C; due immagini, a diversi livelli di ingrandimenti, della sua microstruttura sono presentate nelle fig. 14 e 15, mentre la struttura di Balinit DLC è presentata nella fig. 16.

Nelle fig. 17 e seguenti sono presentate alcune tipiche applicazioni dei rivestimenti a base carbonio amorfo nei settori più sopra menzionati, dalle quali appaiono subito evidenti le notevoli possibilità di impiego.

Ma il messaggio principale che viene da queste applicazioni è che i rivestimenti a base carbonio amorfo possono essere visti dai progettisti e dagli ingegneri di processo come preziosi alleati per pensare a soluzioni veramente innovativi e percorrere strade fino ad oggi nemmeno prese in considerazione.

#### L'ASPORTAZIONE DEI RIVESTIMENTI

E' questo un tema assai poco affrontato in sede di convegni tecnici, soprattutto a motivo degli aspetti fortemente confidenziali che caratterizzano i relativi processi.

E proprio per questo motivo quanto verrà detto nel seguito fa riferimento solo alle conoscenze disponibili presso l'a-

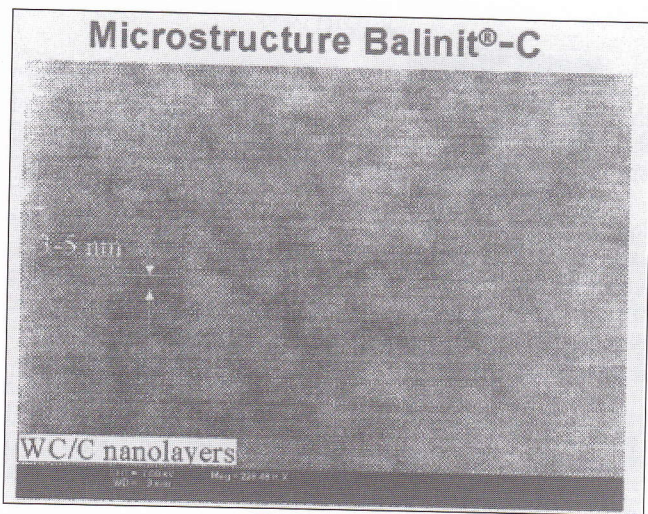


Fig. 15 Microstruttura di BALINIT C (228,48 KX).

Fig. 15 Microstructure of BALINIT C (228,48 KX).

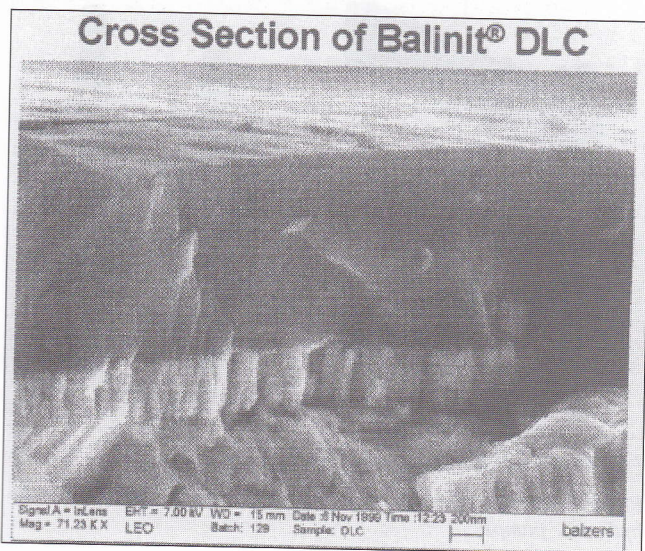


Fig. 16 Microstruttura di BALINIT DLC (71,23 KX).

Fig. 16 Microstructure of BALINIT DLC (71,23 KX).

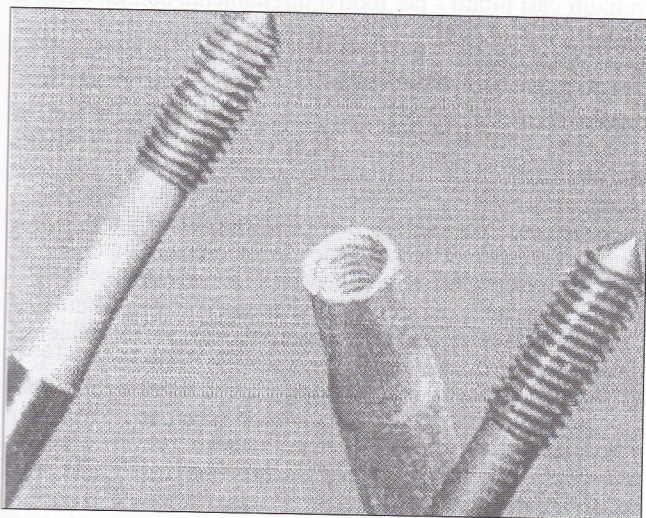


Fig. 17 Il maschio rivestito BALINIT C ha fatto oltre 15.000 filettature senza mostrare alcun problema di incollaggio. Il maschio rivestito TiN dove invece essere sostituito ad intervalli variabili tra 500 e 2000 filettature.

Fig. 17 Pure Al tapping. After 15.000 threads no Al sticking on the BALINIT C coated tap; Tin coated taps had to be replaced each 500 to 2000 threads.

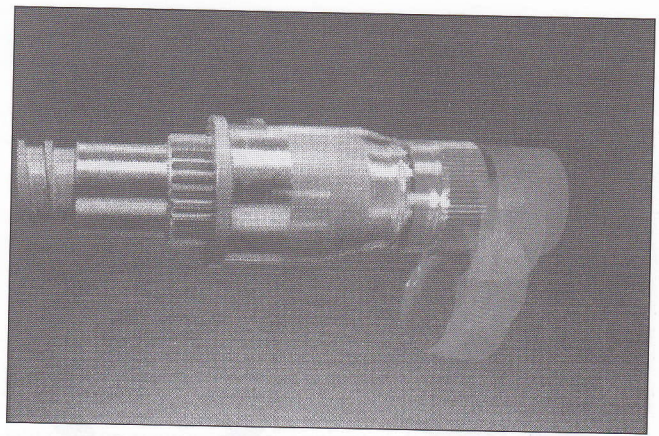


Fig. 18: Svitamento rivestito BALINIT C.

Fig. 18: BALINIT C coated.

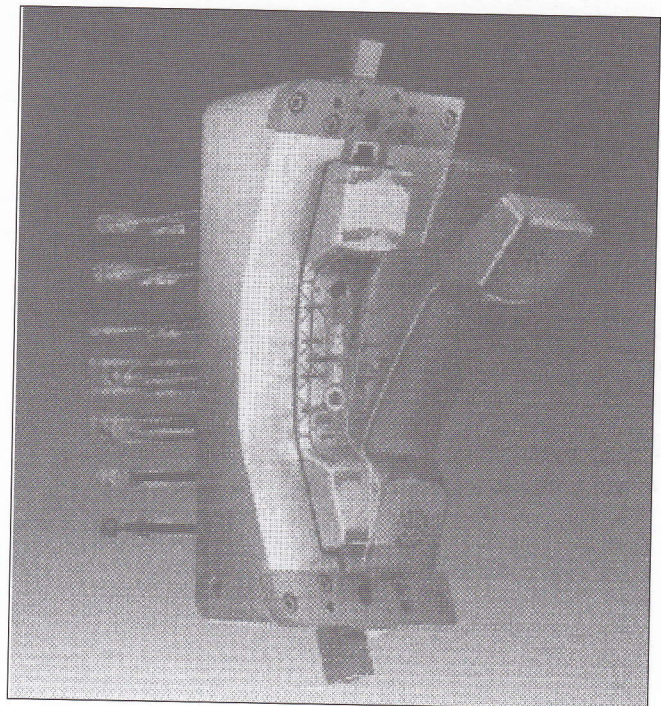


Fig. 19: Anche se poco visibile nella fotografia, gli estrattori sono rivestiti con Balinit C.

Fig. 19: Even if it is not so easy to see, ejectors are BALINIT C coated.



Fig. 20: Componenti di sistemi di iniezione diesel.

Fig. 20: BALINIT C coated components of diesel injection systems.

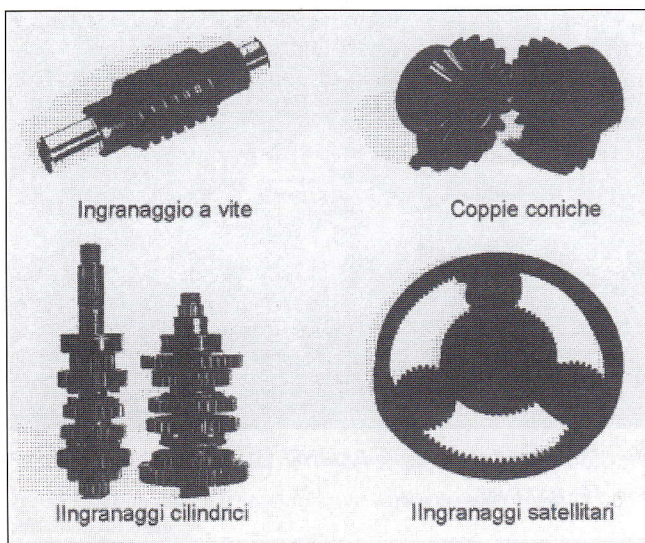


Fig. 21: Trasmissioni a ingranaggi.

Fig. 21: BALINIT C coated gears for transmissions.

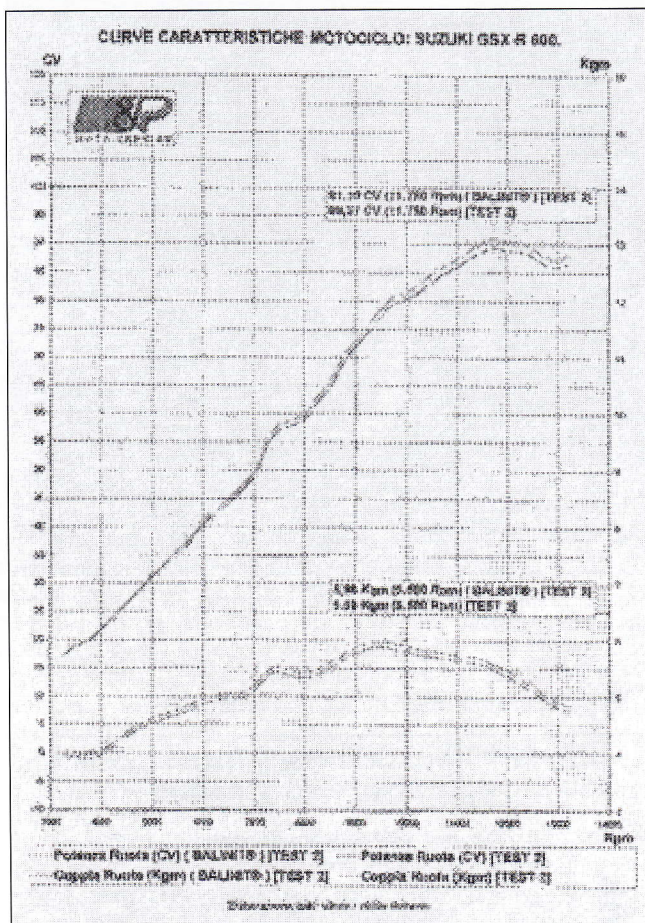


Fig. 22: Performance improvements by BALINIT C coating of spur gears in a race motorbike.

Fig. 22: Valutazioni risultanti del rivestimento BALINIT C del cambio di una moto da competizione.

zienda scrivente, potendo alcune delle affermazioni che verranno fatte essere valide solo al suo interno o esservi situazioni da questa non conosciute. Pur non potendo effettivamente entrare in dettagli tecnici, non è però nemmeno possibile evitare di prendere questo argomento in considerazione, a motivo della sua importanza in connessione con il crescente utilizzo del cosiddetto "re-

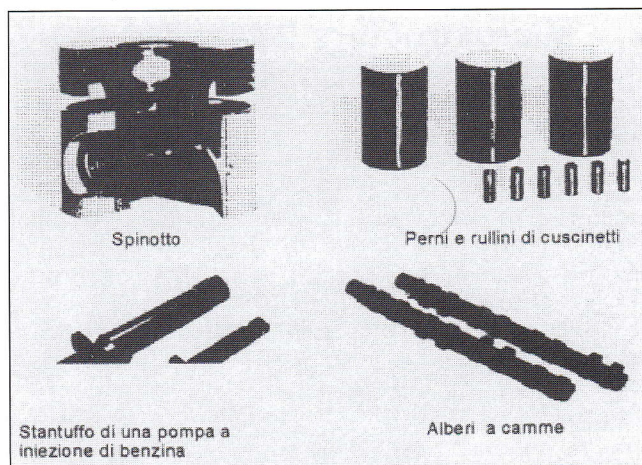


Fig. 23: Componenti di motori.

Fig. 23: BALINIT C coated engine components.

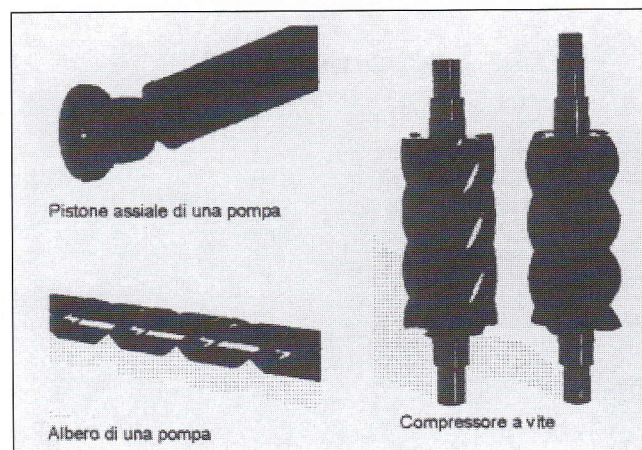


Fig. 24: Pompe idrauliche e compressori.

Fig. 24: BALINIT C coated components for compressors and hydraulic pumps.

coating", cioè il rivestimento successivo ad ogni riaffilatura di utensili.

In molti casi infatti - per motivi direttamente connessi con le tecniche di rivestimento, o per motivi connessi con l'applicazione degli utensili - non è possibile procedere ad un nuovo rivestimento senza la preventiva esportazione del precedente. E' ad esempio il caso dei creatori di altissima precisione (classe AA), degli alesatori o di utensili di piccolo diametro, che non sopportano il sovrapporsi di più strati di rivestimento nelle zone non interessate dal processo di riaffilatura.

Diventa quindi di sempre maggiore importanza che lo sviluppo di un nuovo rivestimento sia accompagnato anche da quello del corrispondente processo di esportazione.

Per i rivestimenti più tradizionali esistono ormai sistemi abbastanza ben affermati che consentono risultati sufficientemente sicuri e ripetibili.

Per quelli innovativi la situazione non è sempre così semplice, soprattutto quando il materiale di substrato è costituito dal metallo duro.

Per tutti i rivestimenti presi in considerazione in questa memoria sono comunque disponibili presso l'azienda scrivente i relativi processi di esportazione sia per substrati in acciaio che per alcuni tipi di metallo duro (in particolare per i tipi "K", mentre non è ancora del tutto affidabile l'asportazione sui tipi "P").

L'unica eccezione è costituita dal rivestimento in diamante, per il quale studi sono ancora in corso e non è quindi possibile al momento effettuarne l'asportazione.

CONCLUSIONE

I rivestimenti in alto vuoto, soprattutto quelli depositati con le tecniche PVD e PECVD, si presentano come strumenti di grande efficacia per consentire alle imprese di affrontare con sufficiente tranquillità le sfide tecnologiche ed economiche del terzo millennio

I settori che certamente saranno più interessati dagli sviluppi di queste tecnologie sono quelli dei componenti di alta precisione (soprattutto destinati al settore automobilistico e motoristico in genere), dello stampaggio (delle materie plastiche, della lamiera e del filo metallico) e degli utensili per le lavorazioni meccaniche di tipo più innovativo (lavorazioni a secco, ad alta velocità, di materiali ad elevata durezza).

L'affermarsi del "recoating" rende sempre più urgente, per ogni nuovo tipo rivestimento, lo sviluppo anche del corrispondente processo di esportazione.

L'altra faccia della medaglia è costituita dagli ingenti investimenti necessari per sostenere lo sviluppo di nuovi processi di rivestimento, in grado di rispondere tempestivamente alle sempre crescenti esigenze dell'industria, nonché dei relativi processi di esportazione.

BIBLIOGRAFIA

Tutte le notizie riportate nella presente memoria provengono da studi ed esperienze dei laboratori di R&S della Balzers, da rapporti tecnici dei Servizi di Assistenza Tecnica Clienti operanti nelle diverse filiali, nonché da informazioni fornite dai Servizi Marketing della Balzers.

Nessuna informazione di carattere riservato viene divulgata senza la preventiva autorizzazione delle aziende interessate.

MEMORIA

A B S T R A C T

**HARD COATINGS IN THE THIRD MILLENNIUM:  
CHANCES AND PROSPECTS**

The new millennium celebrates 25 years in PVD coating as well as 40 years in CVD coating.

In such a relatively short time span high vacuum coatings developed to a breathtaking speed.

Their use started in cutting tools applications, but quickly extended to molds and dies for plastics molding, blanking and forming, as well as Aluminium and Zinc die-casting.

Recently a new and even faster growing application appeared on the market: coating of high precision components intended for the most severe applications, characterised by high mechanical loads and restrictions in the use of lubricants.

The most important example of such applications is the coating of several components of the newest diesel injection systems, known as "common rail".

Such systems are very well known world-wide due to their

characteristics of high performances and very low polluting emissions, which made it possible to certify them in accordance to the restrictive E3 and E4 antipollution regulations. From the old and easy to produce TiN coatings, PVD technology moved to more and more high performance and sophisticated coatings such as bimetallic and multilayer ones.

The most innovative coatings and related applications are discussed in this paper, such as TiAlN for high speed cutting and hard machining, TiAlN+WC/C for dry drilling, tapping and gear cutting, polycrystalline diamond for graphite and Al-Si alloys machining, as well as carbon based coatings for precision components.

Also stripping processes are taken into consideration in this paper due to their importance in relation with recoating of tools, the state of the art technology used to keep the high performances of coated tools all along their life.

A short mention is made to the level of R&D investments necessary to keep the pace in such fast changing technologies.

4/2001