

Dott. Giuseppe Pagliara
g.pagliara@pagliara.it

9. UTENSILI DA TAGLIO con inserti ceramici



Pagliara
prodotti chimici spa



PAGLIARA PRODOTTI CHIMICI SPA

Via Don Comotti, 7 - 24050 LURANO (BG) ITALIA

Tel. +39 035 800050 r.a. - Fax. +39 035 800288-800133

Capitale Sociale Deliberato € 2.000.000,00 Versato € 1.600.000,00

C.F. P.IVA IT 01245920168 REA Bg N.185771 Registro Imprese Bg01245920168

www.pagliara.it - pagliara@pagliara.it - pagliaraprodottichimici@registerpec.it

UTENSILI DA TAGLIO

Servono per la lavorazione dei metalli con asportazione di truciolo.

Costituiscono l'attrezzo mobile che viene fissato alla macchina utensile per il lavoro di incisione o asportazione sul materiale dei pezzi in lavorazione.

Si distinguono in:

- **UTENSILI INTEGRALI** cioè di un unico materiale duro di acciaio al carbonio, rapido HS o super rapido HSS.
- **UTENSILI COMPOSTI** nei quali il tagliente, o i taglienti sono costituiti da inserti in materiale ceramico durissimo fissato all'utensile con vite o con staffa.

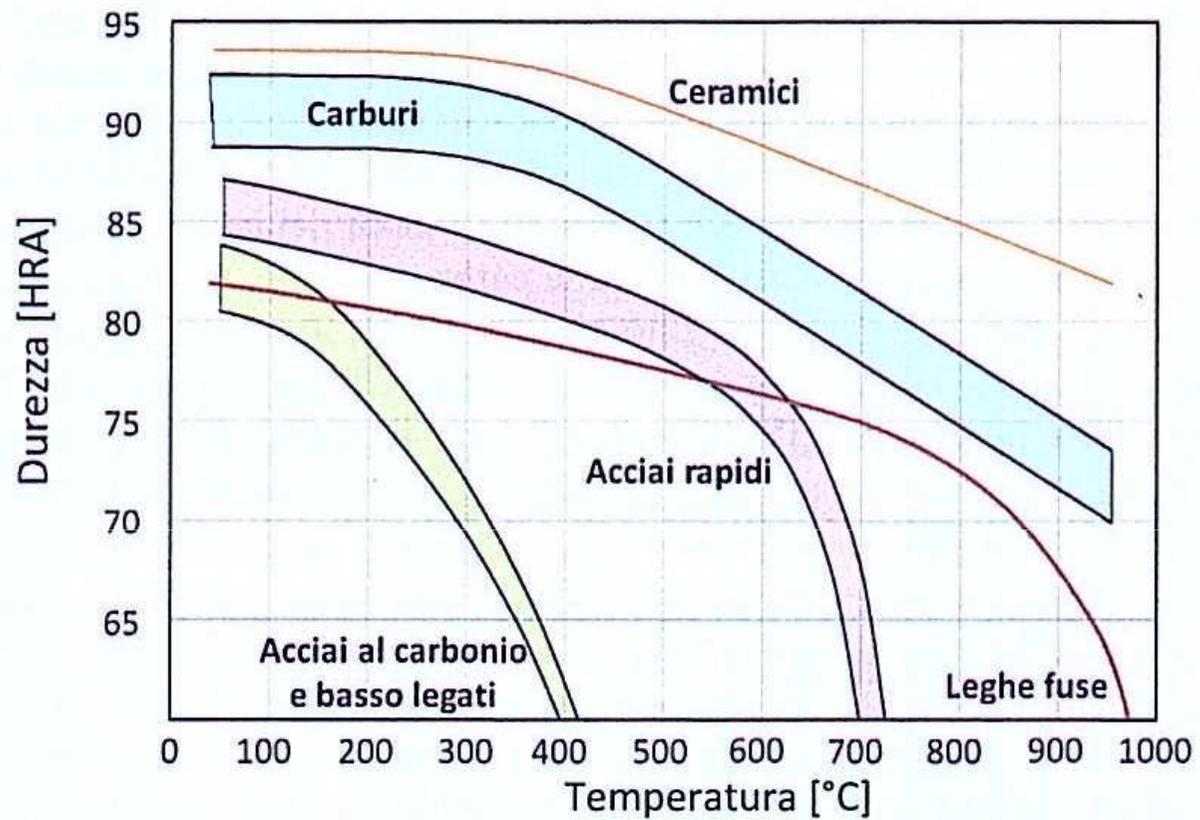
In ogni caso la produttività del lavoro, ossia la velocità di taglio e la durata dell'affilatura dipendono dalla durezza del tagliente particolarmente alla temperatura di lavoro che può essere molto alta fino a oltre 1000°C.

HS = High Speed

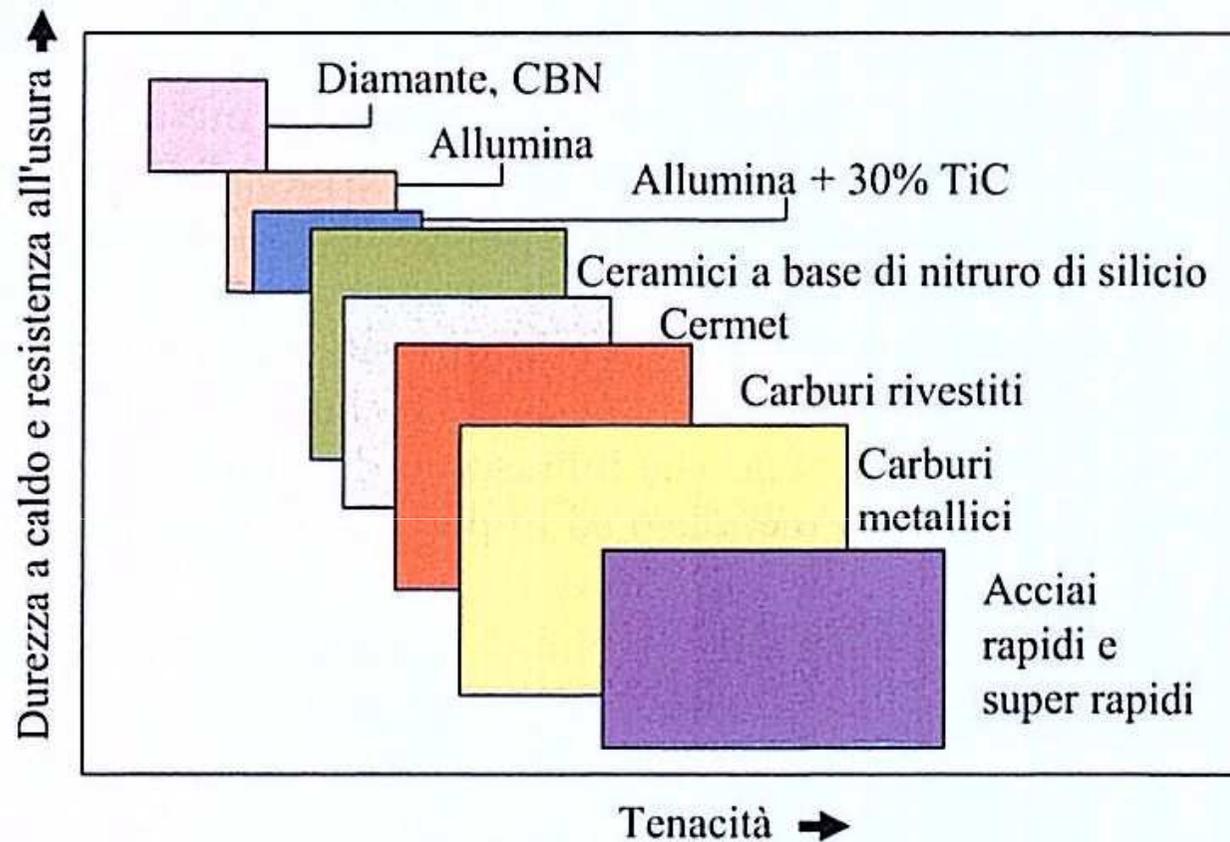
HSS = High Speed Steel

CARATTERISTICHE RICHIESTE ALL'UTENSILE DA TAGLIO

- Elevata durezza, in particolare alle alte temperature di lavoro.
- Tenacità ossia non subire rotture per vibrazioni e urti.
- Resistenza all'abrasione ed all'usura.
- Resistenza alle deformazioni.
- Stabilità chimica alle elevate temperature nei confronti dell'ossigeno atmosferico e nei confronti del materiale in lavorazione.
- Modalità di formazione del truciolo e ottenimento della finitura desiderata.



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PER UTENSILI



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PER UTENSILI

UTENSILI INTEGRALI

In questo caso l'utensile è integralmente di un materiale unico che può essere:

- Acciai al carbonio (0,8 – 2%) con l'aggiunta di piccole percentuali di elementi leganti (Cr, Mo, V, W). Non superano i 250°C e quindi si utilizzano per legno o metalli teneri a bassa velocità di taglio.
- Acciai rapidi cioè ad alta velocità di taglio raggiungono i 450°C. Si distinguono due tipi:

Acciai M = al molibdeno (fino al 10%)

Acciai W = al tungsteno (fino al 20%)

- Acciai super rapidi contengono cobalto (fino al 15%) come ulteriore elemento legante. Raggiungono i 600°C.

UTENSILI COMPOSITI

Negli utensili compositi il tagliente è costituito da un inserto ceramico durissimo.

Le norme ISO-1832, ISO-16462 e ISO-16463 classificano gli inserti per la forma, il materiale e le caratteristiche.

Nella figura seguente si mostrano i tipi di inserti più utilizzati.

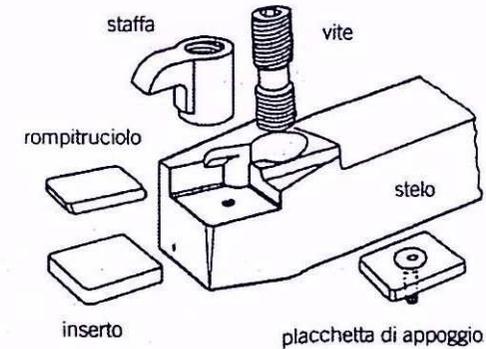
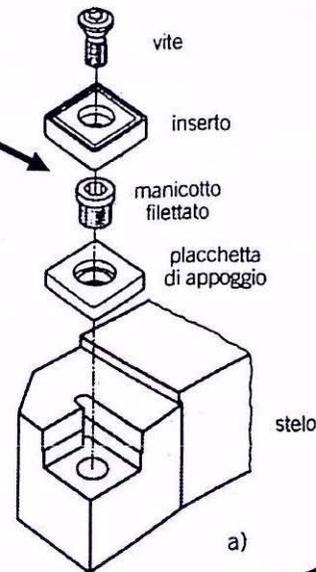


INSERTI DI VARI TIPI E GEOMETRIE

COLLEGAMENTO DELL'INSERTO ALLO STELO

Bloccaggio a vite:

- semplice da realizzare
- poche parti di ricambio
- ingombro ridotto
- deflusso del truciolo non ostacolato
- richiede l'impiego di inserti forati



Bloccaggio a staffa:

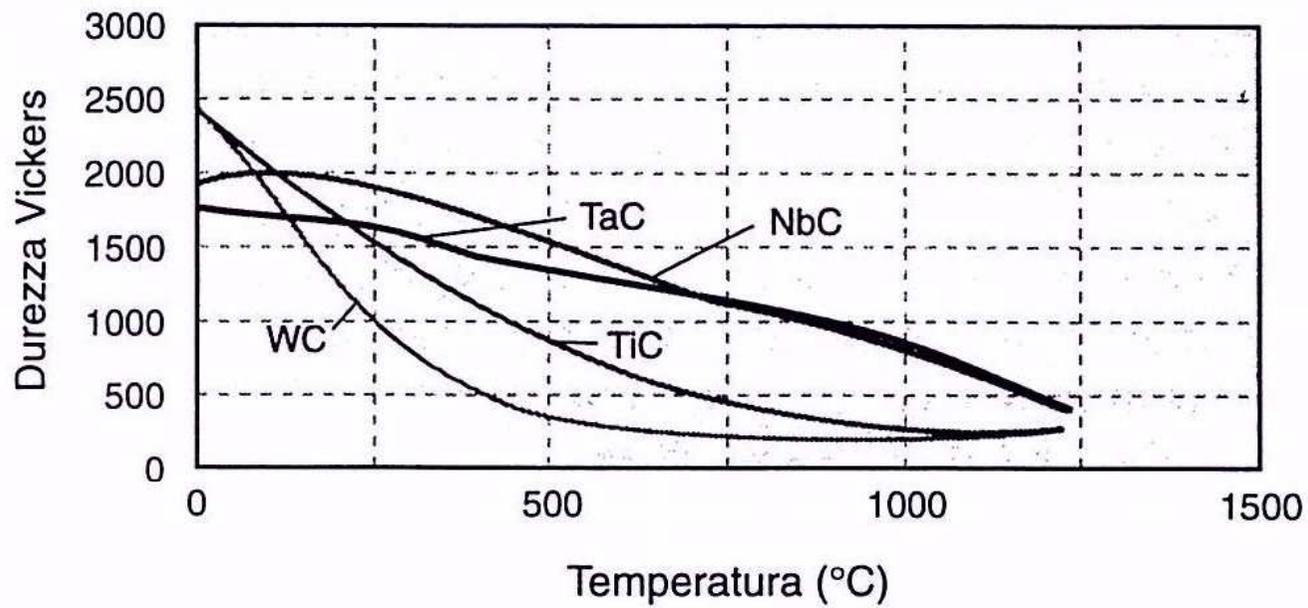
- consente l'impiego di inserti non forati
- con inserti piani permette di interporre fra staffa e inserto una piastrina rompitruciolo

CERMET

Sin dal 1930 il materiale duro dell'inserto tagliente è un composito costituito da CERMET = Ceramica + Metallo. Inizialmente come fase ceramica si è adoperato il carburo di tungsteno WC e come fase metallica il cobalto.

Il procedimento vedeva la produzione di WC da W in polvere + nero fumo a 1700°C. Successivamente il WC micronizzato veniva mescolato con 5-20% di Co e presinterizzato a 800°C e 1000 bar.

La sinterizzazione finale è a 1500°C. A questa temperatura il Co fonde e cementa i granuli di carbonio. Il carburo di tungsteno fornisce la durezza. Il legante cobalto, la tenacità e la conducibilità termica. Successivamente si passò ad altri carburi di durezza superiore a caldo come mostrato nelle tavole seguenti.



DUREZZA A CALDO DEI CARBURI

Evoluzione storica dei cermet

Anno	Composizione	
	Fase ceramica	Fase legante
1930-31	WC	Co
1930	TiC -Mo ₂ C	Ni, Mo, Cr
1930	TaC	Ni
1933	TiC-TaC	Ni
1938-45	TiC-VC	Fe, Ni, Co
1948-55	TiC-NbC	Ni, Co, Cr, Mo, Al
1952-54	TiC	acciaio
1960	TiC	Ni, Mo
1970	Ti (C, N)	Ni, Mo
1974	(Ti, Mo) (C, N)	Ni, Mo
1975	TiC-TiN-WC- Mo ₂ C-VC	Ni, Co
1977-80	TiC- Mo ₂ C	Ni, Mo, Al
1980-83	(Ti, Mo, W) (C, N)	Ni, Mo, Al
1988	(Ti, Ta, Nb, V, Mo, W) (C, N)	Ni, Co-Ti ₂ AlN

WIDIA (Krupp) / CARBOLOY (General Electric)

Il CERMET di WC è spesso chiamato WIDIA o CARBOLOY e trova molti impieghi tecnici (stampi di pressa per ceramica, lame di seghe circolari, penetratori sferici per le prove di durezza Brinell ecc.) ma anche per impieghi sportivi (chiodi per pneumatici dei rally, pattini per ghiaccio, picozze da ghiaccio, ramponi ecc.)





CERMET ATTUALI

I CERMET attuali sono costituiti da:

- una fase ceramica principale (60-80%) a base di TiN, TiC o TiCN.
- una fase ceramica secondaria (20-40%) composta da Mo₂C, TaC, NbC e VC che migliora la resistenza al caldo.
- una fase legante (10-15%) costituita da Ni-Co resa più stabile al calore dall'aggiunta di W, Mo, Ti. Con la sinterizzazione si raggiungono le caratteristiche elevate riportate nella tabella seguente, mentre nella successiva tabella le caratteristiche dei CERMET sono confrontate con quelle di altri tipi di materiali di elevata durezza.

Classificazione ISO dei carburi metallici sinterizzati

designazione ISO	COMPOSIZIONE			PROPRIETÀ MECCANICHE		
	WC %	TiC + TaC (NbC) %	Co %	HRA	modulo elastico GPa	codice colore
K01	97	-	3	93	665	rosso
K10	95,5	0,5	4	92,5	630	rosso
K30	92	2	6	91,5	630	rosso
K40	93	-	7	90,5	600	rosso
K50	86,5	0,5	13	89	530	rosso
M10	72	23	5	92,5	-	giallo
M20	80	12	8	91,5	580	giallo
M30	83	8	9	90,5	-	giallo
M40	75	14	11	90	560	giallo
P01	50	38	Ni = 12	91,5	-	blu
P10	50	40	10	91,5	530	blu
P20	71	20	9	91,5	-	blu
P30	83	7	10	90,5	560	blu
P40	77	10	13	90	560	blu
P50	65	15	20	88	500	blu

HRA = Durezza Rockwell: cono diamante carico 588N (60 Kgf) durata 30"

Proprietà meccaniche e fisiche dei materiali per utensili

PROPRIETÀ	acciai rapidi	stellini	carburi metallici sinterizzati	materiali ceramici	CBN	PCD
durezza	458 ÷ 746 HV	446 ÷ 697 HV	1400 ÷ 1800 HV	2100 ÷ 2400 HV	6500 HV	5500 ÷ 8000 HV
resistenza alla compressione, MPa	4100 ÷ 4500	1500 ÷ 2300	3100 ÷ 5800	2800 ÷ 4500	6900	6900
resistenza a flessione, MPa	2400 ÷ 4800	1400 ÷ 2000	1000 ÷ 2600	340 ÷ 950	700	1300
resilienza, J/mm ²	1 ÷ 3	0,3 ÷ 1,2	0,3 ÷ 1,4	< 0,1	< 0,5	< 0,2
modulo di elasticità E, GPa	207	275	460 ÷ 650	310 ÷ 410	850	820 ÷ 1050
densità ρ, kg/dm ³	8,6	8 ÷ 8,7	10 ÷ 15	4 ÷ 4,5	3,5	3,5
volume della fase dura, %	7 ÷ 15	10 ÷ 20	70 ÷ 90	100	95	95
temperatura di fusione, °C	1300	2800	1400 (a) 2870 (b)*	2000	1300	700**
conducibilità termica, W/m °C	30 ÷ 50	-	35 ÷ 120	29	13	500 ÷ 2000
coefficiente di dilataz. 10 ⁻⁶ /°C	12	-	4,3 ÷ 6,5	6 ÷ 8,5	4,8	1,5 ÷ 4,8

* Temperatura di fusione del cobalto (a), di WC (b).

** Temperatura di combustione.

CBN = Nitrato di Boro cubico

PCD = Diamante poli cristallino (sintetico)

STELLITI = leghe fuse di Cobalto

L'ALLUMINA

Nel 1960 furono disponibili le prime presse isostatiche a caldo con cui sinterizzare l'allumina alfa rinforzata con carburo di titanio o con whiskers di carburo di silicio.

Questo materiale poteva raggiungere anche i 1600°C e quindi sopportare velocità di lavoro elevatissime. Successivamente si passò a soluzioni solide di allumina e nitruro di silicio denominati "SIALON", eventualmente rinforzate con fibre di carburo di silicio, allumina o carbone come mostrato nella tabella successiva.

L'allumina soffre in questo impiego di fragilità eccessiva e di una scarsa resistenza al taglio.

Proprietà di compositi a matrice allumina rinforzati con percentuali variabili di *whiskers* di carburo di silicio.

% SiC	0	8	16	25
Densità (g/cm ³)	3,9	3,8	3,8	3,7
Mod. di Young (GPa)	340	340	350	390
Res. a flessione (MPa)	300	650	700	900
Tenacità a fratt. (MPa m ^{1/2})	4,5	5,5	6,0	8,0
Coeff. esp. term. (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	8,0	8,0	7,0	6,0

SIALON = Si + Al + O + N

Le proprietà del SIALON sono veramente superiori come dimostra la tabella seguente che si limita al Modulo Young. Ma anche l'inerzia all'ossidazione, il basso coefficiente di dilatazione termica, l'elevata conducibilità del calore e la elevata durezza conferiscono al materiale sinterizzato una maggiore idoneità per l'uso come inserto tagliente dell'utensile.

Confronto fra le proprietà meccaniche dei principali ceramici

Materiale ceramico	Modulo di Young (MPa)
Sialon 101	945
Zirconia parzialmente stabilizzata	610
SiC- α	459
Al ₂ O ₃	350
RBSN	180

Proprietà meccaniche di alcuni materiali commerciali per utensili da taglio.

Proprietà	Sialon sinterizzato con legame vetroso	Nitruro di silicio pressato a caldo	Allumina	WC - Co
Resistenza alla rottura trasversale [Nmm ⁻²]	828	896	380	2000
Resistenza alla compressione [Nmm ⁻²]	> 3500	> 3500	2750	5000
Modulo di Young [Nmm ⁻²]	3 × 10 ⁵	3.1 × 10 ⁵	3.6 × 10 ⁵	6 × 10 ⁵
Tenacità alla frattura, K _{IC} [MN/m ^{3/2}]	7	5	1.75	13
Durezza (HV 0.5 kg)	1800	2200	1500	1500
Coefficiente di dilatazione termica (0÷1000°C) [°C ⁻¹]	3.2 × 10 ⁻⁶	3.2 × 10 ⁻⁶	9 × 10 ⁻⁶	4.9 × 10 ⁻⁶
Conducibilità termica (a temperatura ambiente) [W/m°C]	20 ÷ 25	25	8.4	100

DIAMANTE + CBN

Questi prodotti superduri sono divenuti disponibili in tempi recenti, rendendo possibile la lavorazione di acciai super rapidi ad elevata velocità di lavoro.

Il PCD = Diamante Policristallino non consente lavorazioni su acciai e ghisa ma su altri metalli e materiali non metallici permette tolleranze dimensionali molto strette e finiture superficiali elevate, come del resto per il CBN = Nitruro di Boro cubico che invece può essere utilizzato anche per metalli ferrosi.

Questi materiali consentono anche la lavorazione a secco ad altissima velocità specialmente su materiali difficili come leghe di titanio, nickel e acciai induriti.

NITRURO DI SILICIO

Il nitruro di silicio presenta interessanti caratteristiche come materiale per utensili da taglio possedendo elevate proprietà meccaniche, buona tenacità, stabilità termica fino a 1700°C, buona resistenza all'ossidazione anche a caldo, coefficiente di dilatazione basso e buona insensibilità agli shock termici come appare dalla tabella seguente.

Proprietà tipiche di Si₃N₄ commerciale

	HPSN	RBSN
Densità teorica (g/cm ³)	3,2-3,9	2,2-3,2
Densità sinterizzato (%)	95-100	70-88
Durezza (GPa)	14-18	4-7
Tenacità a frattura, K _{IC} (MPa m ^{1/2})	3,4-8,2	1,5-3,6
Coefficiente di espansione termica (0-1000 °C) (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	2-3	2-3
Modulo elastico (GPa)	280-320	100-220
Resistenza a flessione a temp. amb. (MPa)	400-1000	190-400
Conducibilità termica a temp. amb. (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	15-50	3-30

HPSP = Hot Pressed Silicon Nitride

RBSN = Reaction Bonded Silicon Nitride

RIVESTIMENTI CERAMICI

Con le tecniche PVD (Physical Vapour Deposition) e CVD (Chemical Vapour Deposition) è possibile rivestire gli utensili da taglio integrali con TiC, TiCN, TiN, TiAlN, Al₂O₃, MoS₂ ecc. in film sottile di 5-20 µm che fornisce:

- maggiore resistenza all'usura;
- riduzione del coefficiente di attrito;
- velocità di taglio più elevate;
- minore adesione del truciolo all'utensile.

Tale rivestimento ha maggior senso sugli utensili integrali multi-taglienti per i quali, dato l'elevato numero dei taglienti non è possibile l'inserimento di inserti duri ed in primo luogo sulle brocche che possono avere fino a 1000 taglienti. Negli utensili compositi vengono rivestiti unicamente gli inserti taglienti ceramici.

COMPONENTI MECCANICI SU CUI È MAGGIORMENTE APPLICATO IL RIPORTO TiN-PVD

Utensili da taglio di forma complessa in acciaio rapido

Inseri taglienti in ceramica per utensili composti

Stampi per la lavorazione a freddo dei materiali ferrosi

Stampi per la lavorazione dei materiali metallici non ferrosi

Stampi per la trasformazione della materie plastiche

Componenti meccanici

RIVESTIMENTI PVD DI TiN

TiN è il rivestimento più tipico del processo PVD, insieme a quelli in

TiCN, ZrN e CrN.

- **Decorativo perché ha aspetto dorato ornamentale.**
- **Antiusura per l'elevata durezza utile per utensili da taglio.**
- **Anti aderente per trucioli e pezzo lavorato.**
- **Di uso durevole perché conserva il taglio dell'utensile.**
- **Utilizzabile anche in campo biomedico per la sua tollerabilità.**

CARATTERISTICHE DEI RIVESTIMENTI PVD PER UTENSILI DA TAGLIO

Composizione	Dispersione	Microdurezza HV*	Coeff. Di attrito	Spessore μm	T°C di deposizione	Max T°C di utilizzo	Colore
TiN	monostrato	2200	0,6	1-4	140-480	500	giallo oro
TiCN	multistrato	3500	0,5	1-3	350-480	350	rosa
ZrN	monostrato	1600	0,4	1-4	140-480	700	giallo paglierino
CrN	monostrato	1800	0,5	1-10	140-480	750	grigio paglierino

*Con microdurometro automatico; ISOSCAN Scala Vickers



Esempio di incremento di durata utile con rivestimento di TiN

BROCCIA = Fresa lineare.

CREATORE = Utensile per ingranaggi a ruote dentate.

UTENSILI PER ESTRUSIONE = Teste di estrusione, matrici, viti, stampi.

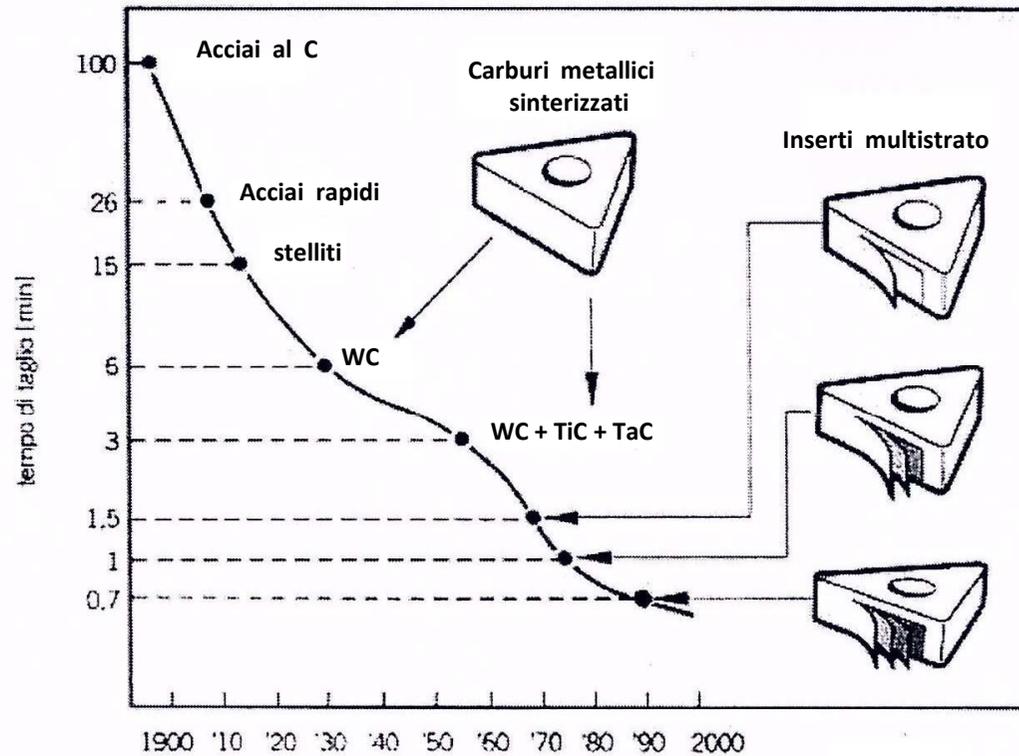
Rivestimenti multistrato

Inserti a strato doppio e triplo (spessori fino a $12 \mu\text{m}$)
per combinare le diverse proprietà di ciascun
materiale di rivestimento

Esempi:

- Substrato + TiC + TiN;
- Substrato + TiC + Al_2O_3 ;
- Substrato + TiC + Al_2O_3 + TiN;

Evoluzione dei materiali per utensili



BIBLIOGRAFIA

F. Rabezzana – MANUALE DEGLI UTENSILI – Tecniche nuove 2015

Pandreini – MANUALE DELL'ING. MECCANICO – Hoepli 2005

S. Kalpa Kijan – TECNOLOGIA MECCANICA – Mylab 2014

M. Sntochi – TECNOLOGIA MECCANICA – Ambrosiana 2000

A. Zompi – TECNOLOGIA MECCANICA – Città Studi 2008

*A. Ascari – TECNOLOGIA MECCANICA INTRUDUZIONE ALLE LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO –
Esculapio 2016*

R. Levi – TECNOLOGIA MECCANICA. LAVORAZIONI AD ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Utet 2003

Carro cao – TECNOLOGIA MECCANICA. LAVORAZIONI CON ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO – Asin 1968

Sandvik – LAVORAZIONI CON LA CERAMICA – Scheda tecnica 2012

SITOGRAFIA

A. Licciulli – Prof. Unile – SINGOLE VOCI

Wikipedia – SINGOLE VOCI