

a cura di Massimo Reboldi

# MATERIALI PER UTENSILI



# Gli utensili

2

Il comportamento di un utensile influenza in maniera determinante la:

- Qualità del prodotto finito;
- Costo parti lavorate;

# Gli utensili

3

Nelle due principali fasi devono ricoprire funzioni diverse:

- In **sgrossatura** l'utensile deve asportare elevati volumi di truciolo;
- In **finitura** l'utensile deve permettere l'ottenimento di finiture superficiali adeguate;

# Gli utensili

4

La capacità di un utensile di soddisfare tali esigenze dipende dal:

- Dal **tipo di materiale** impiegato per la sua costruzione;
- Dalla **geometria**;

Che insieme contribuiscono alla definizione dei ***parametri di lavorazione***

# Gli utensili

5

- L'utensile è soggetto a *sollecitazioni termiche e meccaniche* che si manifestano come *usura* progressiva e talvolta come *collasso improvviso*;
- Ogni utensile è caratterizzato da un tempo di vita utile (durata) entro il quale può eseguire, con le prestazioni desiderate, una data operazione con parametri di taglio definiti;

# Principali requisiti

6

- **Elevata durezza**, soprattutto ad elevate temperature;
- **Elevata tenacità**, intesa sia come capacità di resistere agli urti che sollecitano l'utensile in condizioni di taglio interrotto, sia come capacità di deformarsi sotto carico prima di rompersi;
- **Elevata resistenza alla deformazione plastica** che può presentarsi a causa delle elevate sollecitazioni meccaniche e termiche agenti sull'utensile;

# Principali requisiti

7

- **Elevata resistenza all'usura**, causata:
  - ▣ dallo strisciamento del truciolo sul petto;
  - ▣ dallo strisciamento della superficie lavorata sul dorso dell'utensile;
- **Elevata conducibilità termica**, allo scopo di favorire lo smaltimento del calore dalla zona di taglio;
- **Elevata inerzia chimica**, per evitare che si esalti il fenomeno dell'usura;
- **Basso coefficiente d'attrito**, allo scopo di impedire eccessivi riscaldamenti nella zona di taglio

# Materiali per utensili

8

1. **Acciai al carbonio ed acciai debolmente legati;**
2. **Acciai rapidi e superrapidi (high-speed steels, HSS);**
3. **Leghe fuse di cobalto (stelliti);**
4. **Carburi metallici sinterizzati;**
5. **Carburi rivestiti;**



# Materiali per utensili

9

6. **Materiali ceramici;**
7. **Nitruro di boro cubico (CBN);**
8. **Nitruro di silicio;**
9. **Diamante policristallino (PCD);**

# Proprietà meccaniche e fisiche dei materiali per utensili

10

PROPRIETÀ	acciai rapidi	stelliti	carburi metallici sinterizzati	materiali ceramici	CBN	PCD
durezza	46 ÷ 62 HRC	45 ÷ 60 HRC	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 <sup>2</sup>	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 p, kg/dm <sup>3</sup>	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**
conduttività termica, W/m °C	30 ÷ 50	-	35 ÷ 120	29	13	500 ÷ 2000
coeff. di dilataz. 10 <sup>-6</sup> /°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.

a cura di Massimo Reboldi

# Acciai al carbonio e debolmente legati

11

## Caratteristiche:

- Elevata tenacità;
- Basso costo;
- Facilmente riaffilabili, profilabili e riutilizzabili;
- Limitata durezza;
- Resistenza all'usura relativamente bassa;

Erano usati nella costruzione di utensili per lavorazioni eseguite a bassa  $V_t$ . Ormai in disuso

# Composizione chimica acciai al carbonio

12

- Valori di C compresi tra 0.9-1,2 %;
- Al crescere del tenore di C:
  - ▣ Aumentano durezza e resistenza all'usura;
  - ▣ Diminuisce tenacità;

# Composizione chimica acciai debolmente legati

13

- C: 0,5 – 1,3 %;
- Cr: 0,8 – 1,2 % - migliora resistenza all'usura;
- W: max 2,5 % - migliora durezza a caldo;
- Mn: migliora temprabilità;
- V: 0,1 – 0,2 % - migliora tenacità

# Acciai rapidi e superrapidi

14

- Elevato tenore di C (0,7 – 1 %) con aggiunte di elementi in lega;
- Consentono  $V_t$  superiori rispetto agli acciai al C e debolmente legati grazie a T di rinvenimento maggiori;
- Largamente diffusi per utensili da taglio di forma complessa (punte elicoidali, punte da centro, frese di forma, maschi filettatori, alesatori multitaglienti);

# Acciai rapidi

15

Gli acciai rapidi si dividono in due gruppi:

1. *Al molibdeno (serie M):*

- ▣ fino al 10% di Mo con Cr, V e W;
- ▣ caratterizzati da migliore resistenza all'abrasione;
- ▣ Minori distorsioni durante i trattamenti termici;
- ▣ Minore costo;

2. *Al tungsteno (serie T):*

- ▣ 13 – 19 % di W con Cr e V;
- ▣ Migliore resistenza all'usura mediante rivestimento TiN;

# Acciai superrapidi

16

- Acciai superrapidi non subiscono la dissociazione a caldo dei carburi doppi e mantengono **elevata durezza fino a 600°**;



# Composizione chimica acciai rapidi e superrapidi

17

DENOMINAZIONE	C	W	Cr	Va	Mo	Co
<b>acciai al tungsteno</b>						
18 - 4 - 1	0,7 ÷ 0,8	17 ÷ 19	3,5 ÷ 4,5	0,9 ÷ 1,3	-	-
18 - 4 - 2	0,75 ÷ 0,9	17 ÷ 19	3,5 ÷ 4,5	1,8 ÷ 2,2	0,6 ÷ 0,9	-
18 - 4 - 3	0,85 ÷ 1,0	17 ÷ 19	3,5 ÷ 4,5	2,8 ÷ 3,2	-	-
14 - 4 - 2	0,7 ÷ 0,8	13 ÷ 15	3,5 ÷ 4,5	1,8 ÷ 2,2	-	-
<b>acciai al molibdeno</b>						
Mo - W	0,75 ÷ 0,85	1,4 ÷ 1,6	3,5 ÷ 4,5	0,8 ÷ 1,2	7 ÷ 9	-
W - Mo	0,8 ÷ 0,9	6 ÷ 6,75	3,5 ÷ 4,5	1,75 ÷ 2,05	5 ÷ 5,5	-
Mo - Va	0,8 ÷ 0,9	-	3,5 ÷ 4,5	1,8 ÷ 2,2	7 ÷ 9	-
<b>acciai al cobalto (superrapidi)</b>						
18 - 4 - 1 + 4% Co	0,7 ÷ 0,75	17 ÷ 19	3,5 ÷ 4,5	0,9 ÷ 1,3	0,5	4
18 - 4 - 2 + 7% Co	0,75 ÷ 0,8	17 ÷ 19	3,5 ÷ 4,5	1,8 ÷ 2,2	0,75	7
20 - 4,5 - 1,5 + 12% Co	0,8 ÷ 0,85	19 ÷ 21	4 ÷ 5	1,3 ÷ 1,8	1	12
14 - 4 - 2 + 5% Co	0,75 ÷ 0,8	13 ÷ 15	3,5 ÷ 4,5	1,7 ÷ 2,2	0,25	5
Mo + W + 5% Co	0,8 ÷ 0,85	1,4	3,5 ÷ 4,5	0,9 ÷ 1,2	9	5

a cura di Massimo Reboldi

# Leghe fuse di cobalto (stelliti)

18

- **Composizione chimica**
  - ▣ Co: 38 – 58 %;
  - ▣ Cr: 30 – 33%
  - ▣ W: 10 – 20%;
- **Durezza a T ambiente pari a quella degli acciai rapidi ma con valori adeguati alle condizioni di taglio anche a T elevate;**
- **Chimicamente più stabili rispetto agli acciai rapidi;**

# Leghe fuse di cobalto (stelliti)


19

- Buona resistenza all'usura;
- Maggior rigidezza rispetto agli acciai rapidi;
- Maggiore fragilità rispetto agli acciai rapidi che non ne consente l'uso in condizioni di taglio interrotto;
- Disponibili solo in forme relativamente semplici;
- Costo elevato;

# Carburi metallici sinterizzati

20

Costituiti da una fase dura di carburi metallici (WC, TiC, TaC, NbC), dal 50% - 90%, inglobata in una matrice metallica con funzione di legante

- Prodotti mediante tecniche di metallurgia delle polveri;
- **Durezza a caldo molto elevata**  **Vt elevata;**
- **Elevata conducibilità termica;**
- **Basso coefficiente di dilatazione termica;**

# Carburi metallici sinterizzati

21

- **Elevata stabilità termica;**
- Modulo di Young (modulo di elasticità normale) fino a 3 volte superiore rispetto acciai rapidi;
- **Tenacità notevolmente più bassa rispetto acciai rapidi;**
- **Bassa resistenza agli urti;**

# Carburi metallici sinterizzati: carburi di Tungsteno WC

22

- Fase legante a base di Co;
- **Taglio di ghisa o materiali non ferrosi;**
- **Resistenza all'usura inadeguata per craterizzazione** nelle lavorazioni su acciaio a causa di una migrazione per diffusione di atomi di W e C dal petto dell'utensile al truciolo;
- **Durezza a caldo e resistenza a craterizzazione accresciute aggiungendo TiC, TaC e NbC**

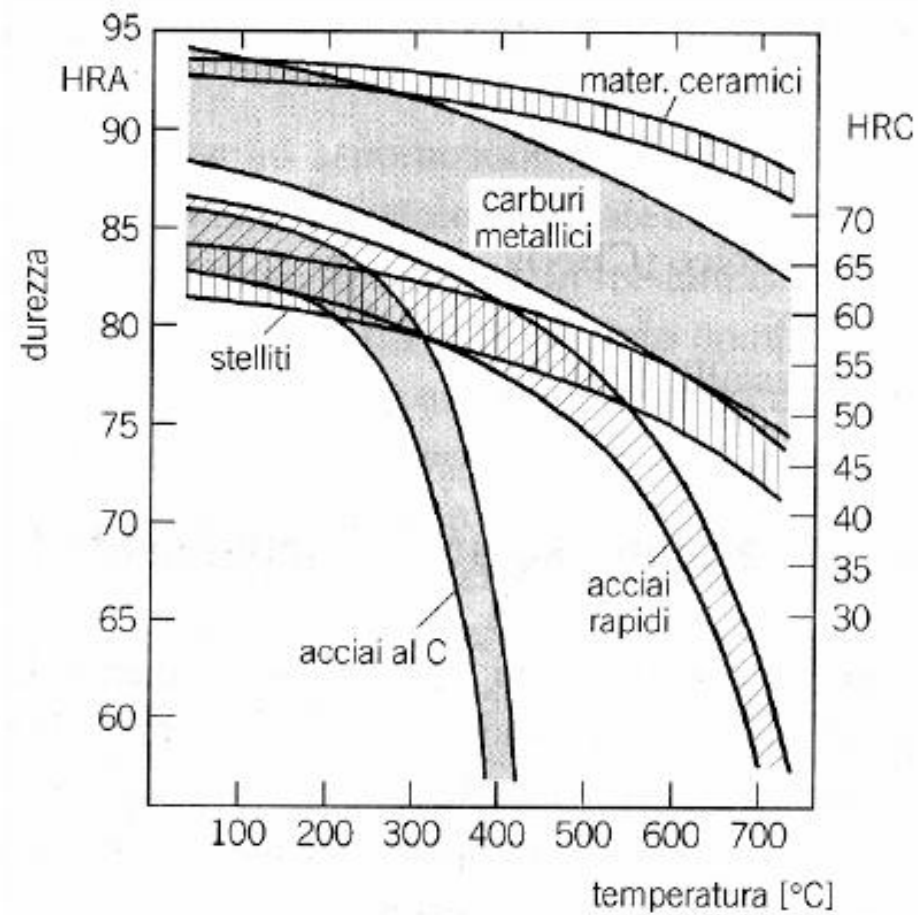
# Carburi metallici sinterizzati: carburi di Titanio TiC

23

- Fase legante a base di Ni e Mo;
- **Maggiore resistenza all'usura e minore tenacità rispetto al WC;**
- Velocità di taglio più elevate nella lavorazione di acciai legati e ghise rispetto WC;

# Durezza a caldo dei materiali per utensili

24



a cura di Massimo Reboldi

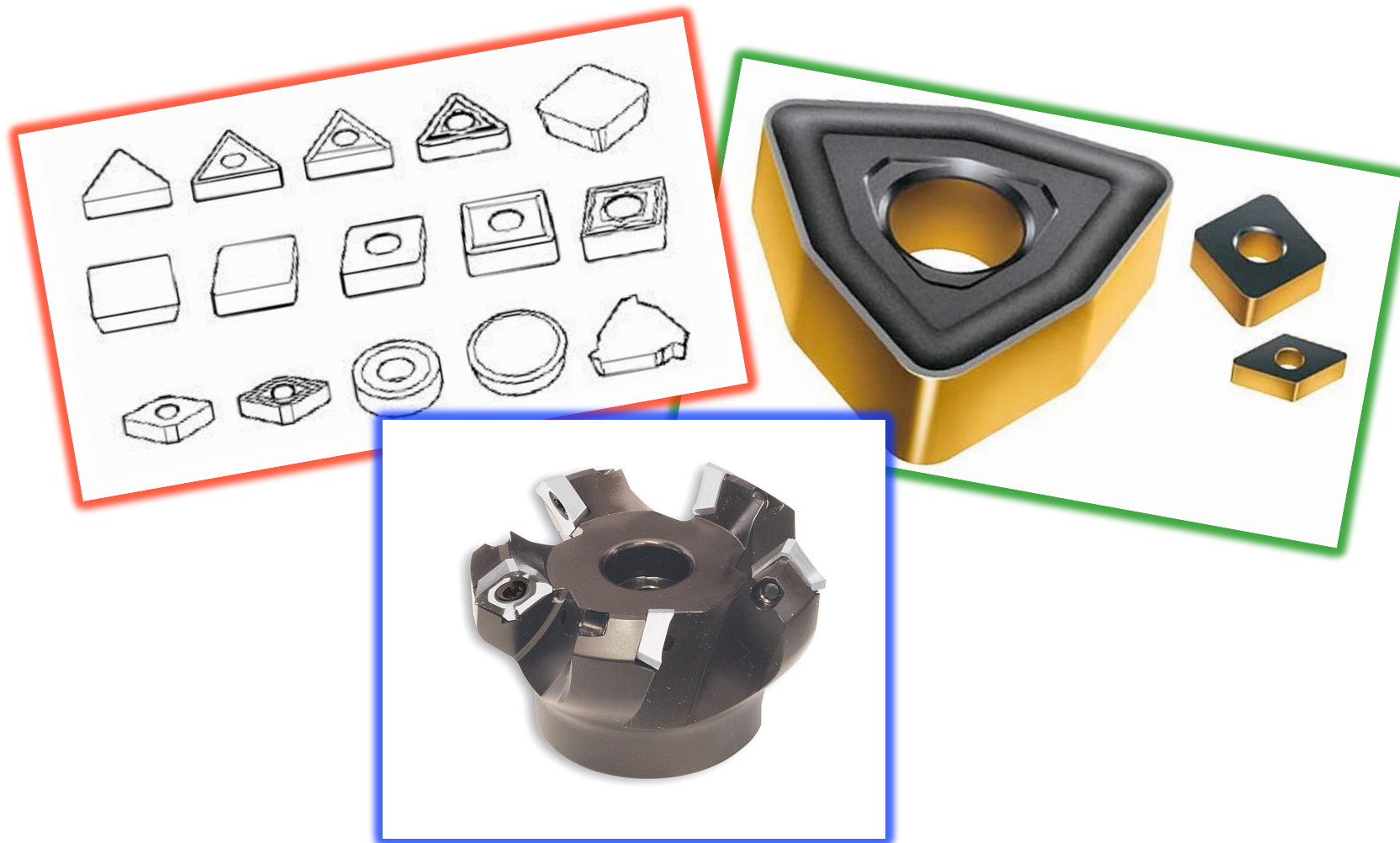


# Inserti

- La costruzione di un utensile da taglio in un solo materiale non consente di soddisfare appieno i principali requisiti di resistenza richiesti (elevata durezza e resistenza all'usura dei taglienti, elevata resistenza agli urti del corpo);
- Con lo sviluppo degli inserti in carburi metallici sinterizzati è stato possibile costruire utensili di tipo composito per soddisfare le diverse esigenze;

# Inserti

26



a cura di Massimo Reboldi

# Collegamenti inserto-stelo

27

- Placchetta riportata mediante brasatura:
  - ▣ Rischi di fessurazioni o scheggiature dell'inserto durante la brasatura;
  - ▣ Difficoltà nella sostituzione dell'inserto;
- Bloccaggio a vite:
  - ▣ Semplice da realizzare;
  - ▣ Ingombro ridotto;
  - ▣ Richiesta impiego inserti forati;
  - ▣ Deflusso truciolo non ostacolato;

# Collegamenti inserto-stelo

28

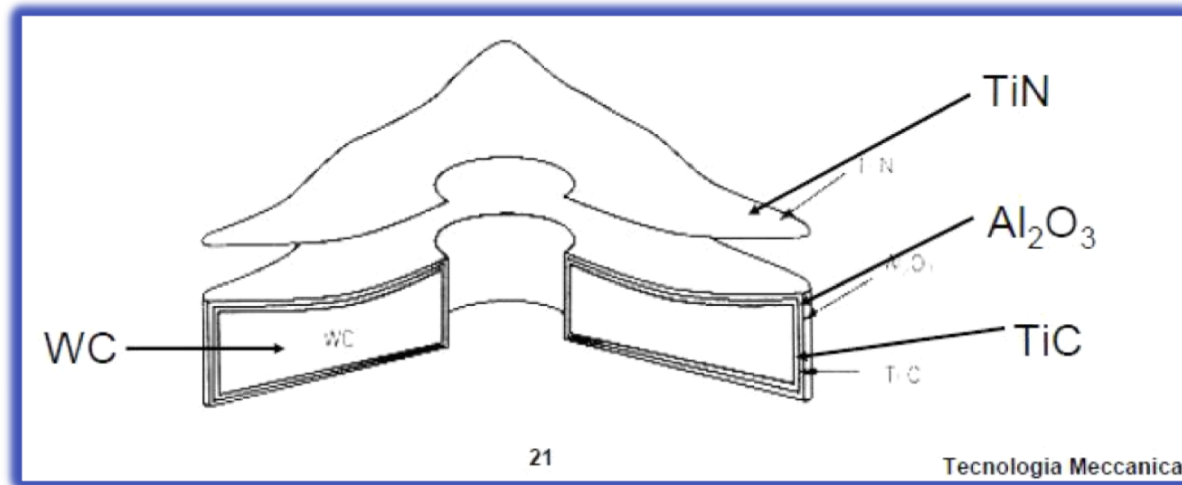
- Bloccaggio a staffa:
  - ▣ Impiego inserti non forati;
  - ▣ Con inserti piani permette di interporre tra staffa e inserto una piastrina rompitruciolo;
- Bloccaggio a leva:
  - ▣ Adatto per bloccaggio meccanico di inserti fragili (ceramici, ...);
- Bloccaggio con scanalatura prismatica:
  - ▣ Smontaggio rapido

# Utensili rivestiti

29

Ottenuti riportando su inserti in **carburo metallico e HSS** uno o più strati di materiale molto duro per aumentare:

- **Resistenza all'usura;**
- **Resistenza alle sollecitazioni termiche;**



a cura di Massimo Reboldi

# Utensili rivestiti

30

Requisiti materiale da ricoprimento:

- ❑ Elevata durezza ad alta T;
- ❑ Stabilità chimica rispetto al materiale in lavorazione;
- ❑ Bassa conducibilità termica;
- ❑ Buon legame con il substrato per evitare scheggiature;
- ❑ Porosità bassa;
- ❑ Basso coefficiente d'attrito col truciolo;

# Principali materiali utilizzati per il rivestimento

31

## ***Nitruro di Titanio – TiN***

- basso coefficiente di attrito;
- elevata durezza e resistenza alle alte temperatura;
- buona adesione al substrato;

## ***Carburo di Titanio – TiC***

- elevata resistenza ad usura sul fianco nella lavorazione di materiali abrasivi;

# Principali materiali utilizzati per il rivestimento

32

## ***Ossido di alluminio – $Al_2O_3$***

- resistenza alle alte temperature;
- bassa conducibilità termica;
- elevata resistenza all'usura sul fianco e per craterizzazione;
- difficoltà di adesione al substrato poiché chimicamente poco reattivo;



# Rivestimenti multistrato

33

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 +  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- Substrato + TiC +  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + TiN;

# Rivestimenti multistrato

34

- Strato interno deve garantire buona adesione al substrato;
- Strato esterno deve garantire buona resistenza all'usura e fungere da barriera termica;
- Strato intermedio deve essere compatibile per la realizzazione di un legame stabile con gli altri strati

# Materiali ceramici

35

- Componente principale è  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (*allumina*);
- Altri componenti: TiC, ZrO per incrementare conducibilità termica, tenacità, resistenza shock termici;
- Collegati al corpo dell'utensile mediante bloccaggio a staffa per minore resistenza a taglio;

Si dividono in due categorie:

- ***Ceramica bianca;***
- ***Ceramica nera (CERMET);***

# Materiali ceramici

36

## ***Ceramica bianca***

- Composta quasi esclusivamente da  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- Ottenuta con pressatura delle polveri a freddo e successiva sinterizzazione a T elevate (1600-1800°C);

## ***Ceramica nera (CERMET):***

- Composti da 70% di  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 30% di TiC;
- Possono contenere MoC, NBC, TaC;
- Ottenuta mediante pressatura e sinterizzazione a T elevate

# Materiali ceramici

37

## **Caratteristiche:**

- Elevatissima durezza a caldo;
- Ottima resistenza all'usura che consente di lavorare ad altissime  $V_t$ ;
- Stabilità chimica maggiore degli altri materiali per utensili;
- Elevata fragilità che provoca degrado prematuro;
- Non idonei alla lavorazione di Al, Ti e rispettive leghe per marcata affinità chimica;

# Materiali ceramici

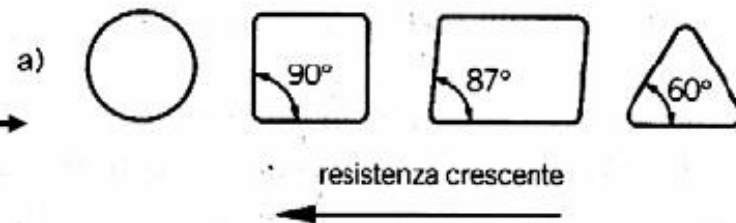
38

## Campi di impiego:

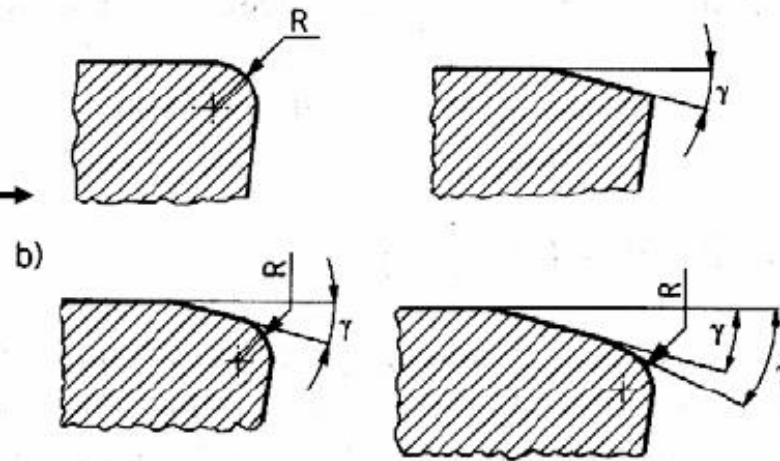
- Lavorazioni di semifinitura o finitura di parti in ghisa ed in acciaio adottando valori elevati di  $V_t$  e bassi di avanzamento;
- Lavorazione di acciai dopo trattamenti termici di indurimento superficiale evitando successive operazioni di rettificazione;

# Materiali ceramici

Alcune forme di inserti  
in materiale ceramico



Profili di raccordo fra  
petto e fianco del  
tagliante



# Materiali ceramici a base di nitruro di silicio

40

- Ricadono nella famiglia dei ceramici anche se hanno proprietà meccaniche e tecnologiche che differiscono sostanzialmente da quelli a base di  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- Componente principale:  $\text{Si}_3\text{N}_4$  a cui vengono aggiunti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiC}$  e  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ;
- Processo produttivo: Sinterizzazione;



# Materiali ceramici a base di nitruro di silicio

41

*Esempio: Sialon – Silicon, Aluminium, Oxygen, Nitrogen:*

- Conserva elevata durezza a T superiori a quelle dei carburi metallici;
- È più tenace della ceramica a base  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e presenta migliore resistenza agli shock termici;

## **Campi di impiego;**

- Lavorazioni su ghise e superleghe a base di Ti (non sugli acciai);

# Nitruro di boro cubico (CBN)

42

## □ **Caratteristiche:**

- Elevatissima durezza (inferiore solo al diamante);
- Ottima resistenza all'usura per abrasione;
- Buona stabilità chimica;

## □ **Processo produttivo:**

- Sintesi a T e p elevate;

# Nitruro di boro cubico (CBN)

43

- **Utilizzo: inserti e mole abrasive**
  - ▣ Inserti prodotti riportando, sopra un inserto in carburo, in prossimità del tagliente, uno strato sottile di CBN mediante brasatura;
  - ▣ Soluzioni più recenti prevedono la realizzazione di inserti con riporto di CBN realizzato durante la sinterizzazione del carburo CBN integrali ma più piccoli;
- **Ottime prestazioni in operazioni di finitura su acciaio temprato ed una durata del tagliente più elevata rispetto agli inserti in carburo e ceramici;**
- **Operano come i ceramici, prevalentemente in condizioni di taglio a secco;**

# Diamante policristallino (PCD)

44

## □ **Caratteristiche:**

- Elevatissima durezza;
- Basso attrito;
- Elevata resistenza all'usura;
- Capacità di mantenere a lungo l'affilatura del tagliente;

## □ **Utilizzo:**

- Inerti ottenuti riportando, mediante sinterizzazione, uno strato di particelle di diamante a grana molto fine su un substrato in carburo;

# Diamante policristallino (PCD)

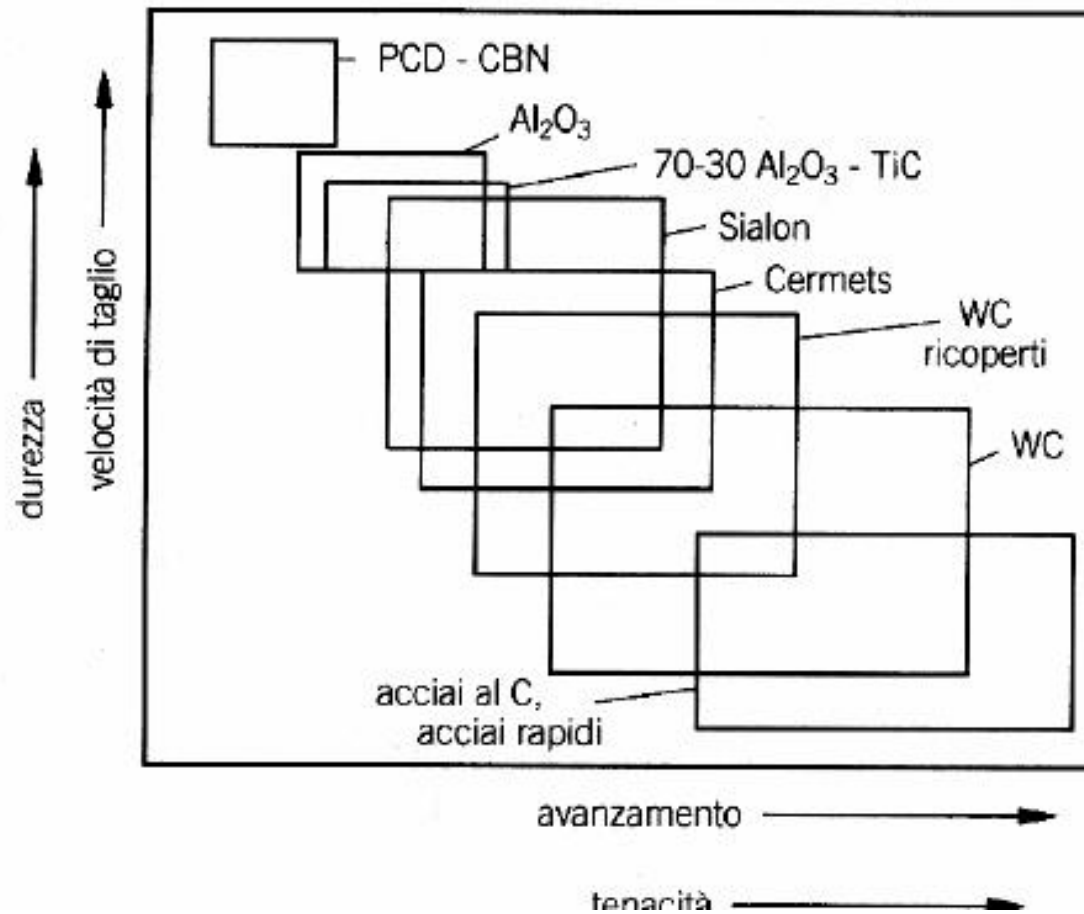
45

## □ **Campi di impiego:**

- La forte affinità con Fe non consente lavorazioni su acciai e ghisa;
- Lavorazione di leghe non ferrose e di materiali non metallici fortemente abrasivi;
- Ottenimento di tolleranze dimensionali molto strette e finiture superficiali elevate;

# Proprietà e campi di impiego dei materiali per utensili

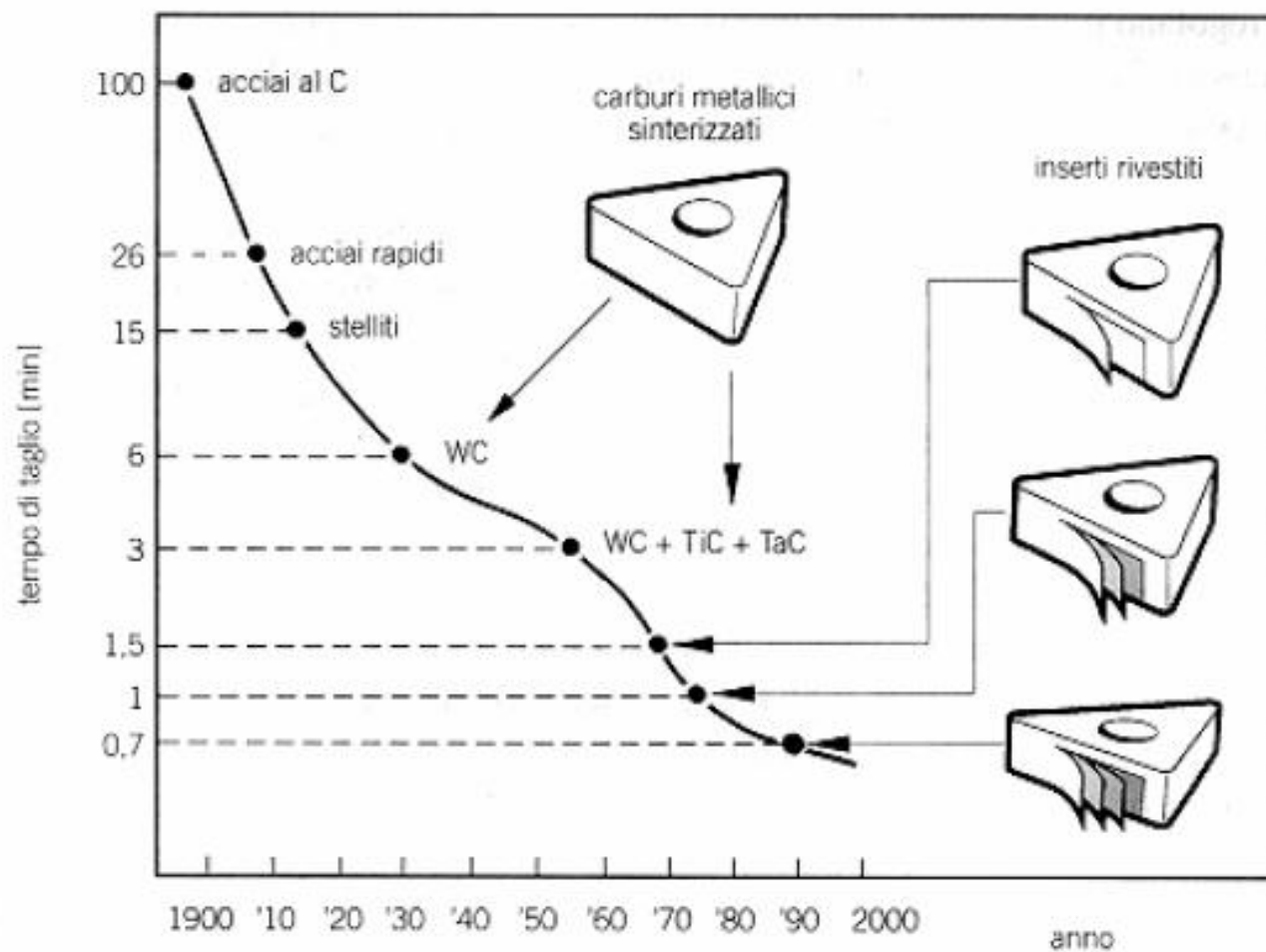
46



a cura di Massimo Reboldi

# Evoluzione dei materiali per utensili

47



a cura di Massimo Reboldi

# bibliografia

48

- Tecnologia Meccanica – Levi/Bontempi;
- Tecnologia Meccanica – Santochi/Giusti;
- Materiali per utensili di taglio – D'Urso;