

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Rivestimenti PVD per utensili da  
taglio»***

Tutor universitario: Prof.ssa Katya Brunelli

Laureando: *Stefano Celotto*

Padova, 12/03/2025

# Rivestimenti PVD: proprietà e prestazioni per l'applicazione di utensili da taglio

- Capitolo 1: la tecnologia PVD
- Capitolo 2: materiali utilizzati nei rivestimenti PVD
- Capitolo 3: prestazioni dei rivestimenti PVD a base di titanio

## **Obiettivi:**

- Individuare le tecniche sviluppate per la produzione di rivestimenti PVD
- Studiare le proprietà e le caratteristiche dei materiali usati nella realizzazione dei rivestimenti PVD
- Analizzare la resistenza all'usura dei rivestimenti
- Studiare l'effetto dell'aggiunta di elementi in lega e di multistrati ai rivestimenti PVD a base di titanio

## La tecnologia PVD

Le tecniche PVD sono ampiamente utilizzate nella realizzazione di film sottili per utensili da taglio.

In questi processi le particelle da depositare vengono apportate fisicamente sulla superficie del pezzo, a differenza dei processi CVD in cui l'apporto di materiale avviene attraverso reazioni chimiche.

Esistono quattro principali famiglie di tecniche PVD:

- **Vacuum deposition**
- **Arc vapor deposition**
- **Sputter deposition**
- **Ion plating**

## Materiali dei rivestimenti PVD

I materiali comunemente usati per la realizzazione di rivestimenti per utensili da taglio sono:

- Nitruro di titanio
- Carbonitruro di titanio
- Nitruro di titanio alluminio
- Ossido di alluminio
- Carbonio diamantato (DLC)

I materiali e le proprietà dei rivestimenti possono combinate e ottimizzate nella realizzazione di rivestimenti multistrato.

## Nitruro di Titanio (TiN)

Il nitruro di titanio è un materiale estremamente duro che permette la realizzazione di rivestimenti con buone proprietà ad elevate temperature.

Gli utensili in TiN non sono particolarmente ideali nelle lavorazioni a basse velocità e in condizioni di taglio a secco.

I rivestimenti in TiN, caratterizzati dal tipico colore oro, sono usati anche nell'ambito della gioielleria e in altre applicazioni che prevedono lo scorrimento di superfici come negli steli delle forcelle.



## Carbonitruro di titanio (TiCN)

Il carbonitruro di titanio è un composto ceramico metastabile ternario, si ottiene dalla sintesi delle polveri di titanio e carbonio con l'azoto. Caratterizzato dal tipico colore rosso/malva, presenta proprietà meccaniche superiori al TiN ed è particolarmente adatto alla lavorazione di acciai inossidabili.



## Nitruro di titanio alluminio (TiAlN)

Il nitruro di titanio alluminio è un composto ternario metastabile caratterizzato da una struttura cubica facce centrate. Rispetto agli altri rivestimenti a base di titanio offre prestazioni generalmente migliori in termini di resistenza all'usura.

I rivestimenti in TiAlN si rivelano particolarmente efficaci nella lavorazione di leghe aerospaziali.



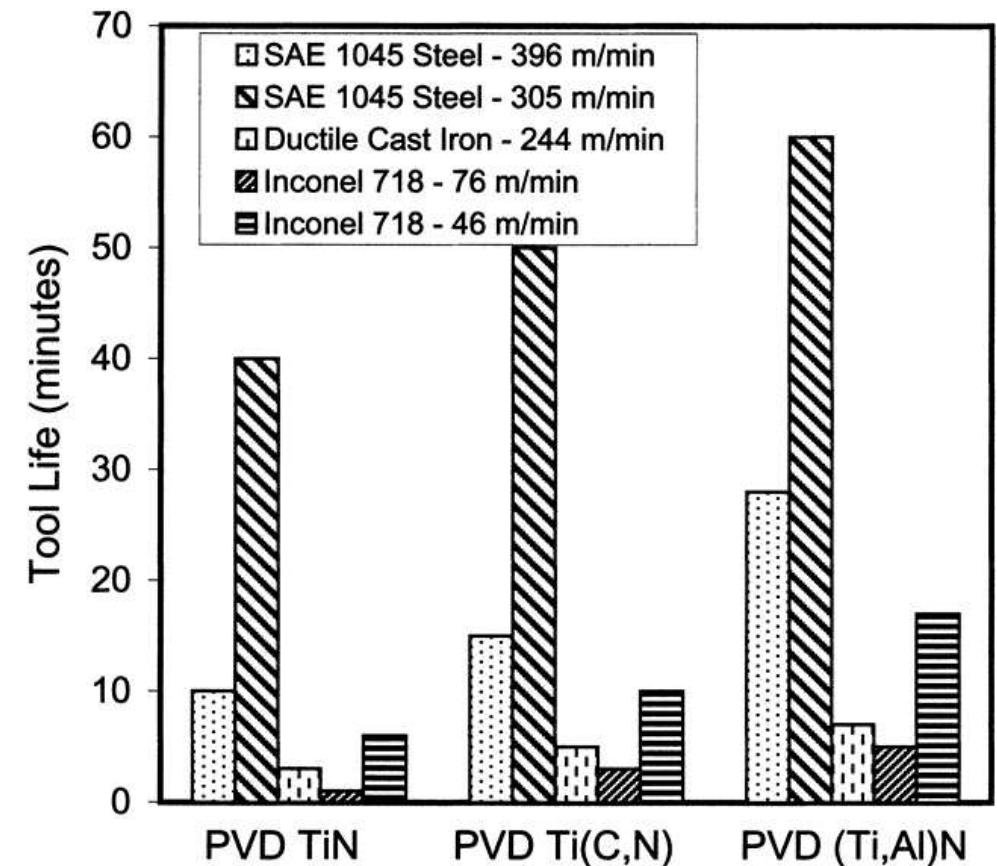


## Prestazione dei rivestimenti PVD a base di titanio

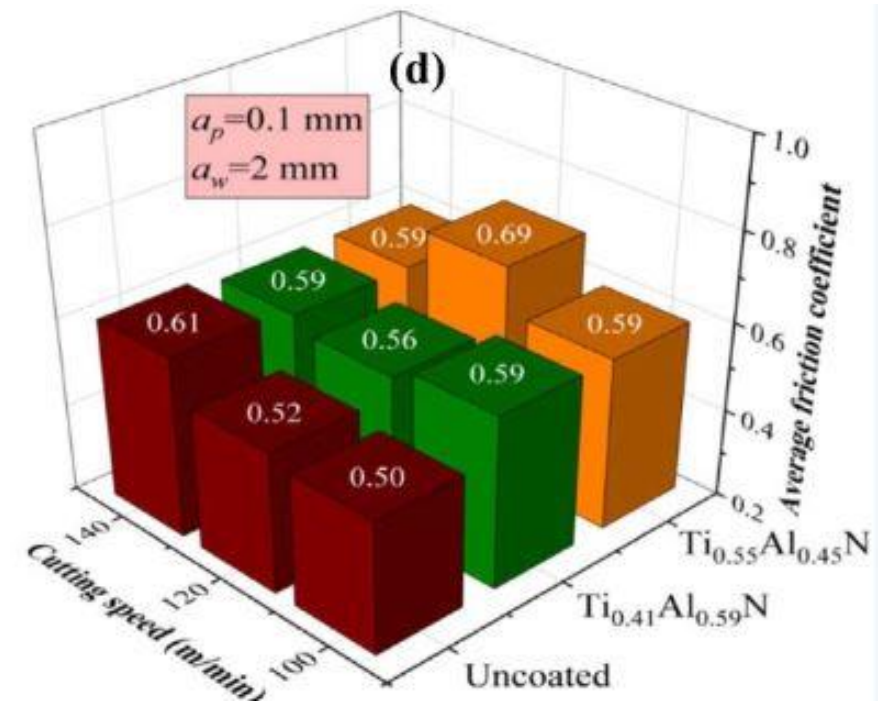
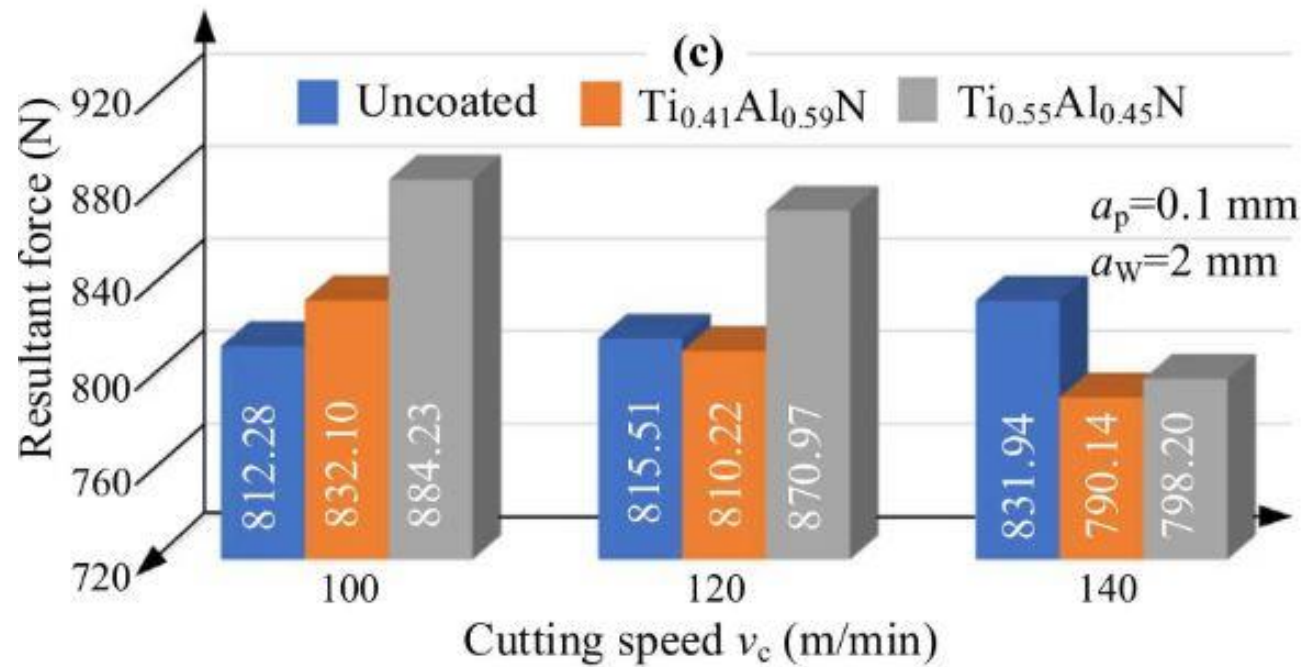
Studi comparativi di utensili in carburo di tungsteno rivestiti hanno dimostrato la superiorità di TiAlN rispetto a TiN e TiCN in termini di:

- vita utile
- usura del fianco
- crateri di usura

Le proprietà di TiAlN sono dovute ad una maggiore durezza a caldo, minore conducibilità termica e alla formazione di strati protettivi superficiali di  $Al_2O_3$ .



Effetto del contenuto di Al nei rivestimenti in TiAlN su forze di taglio e coefficiente di attrito



## Effetto del contenuto di Al sulle forze di taglio e coefficiente di attrito

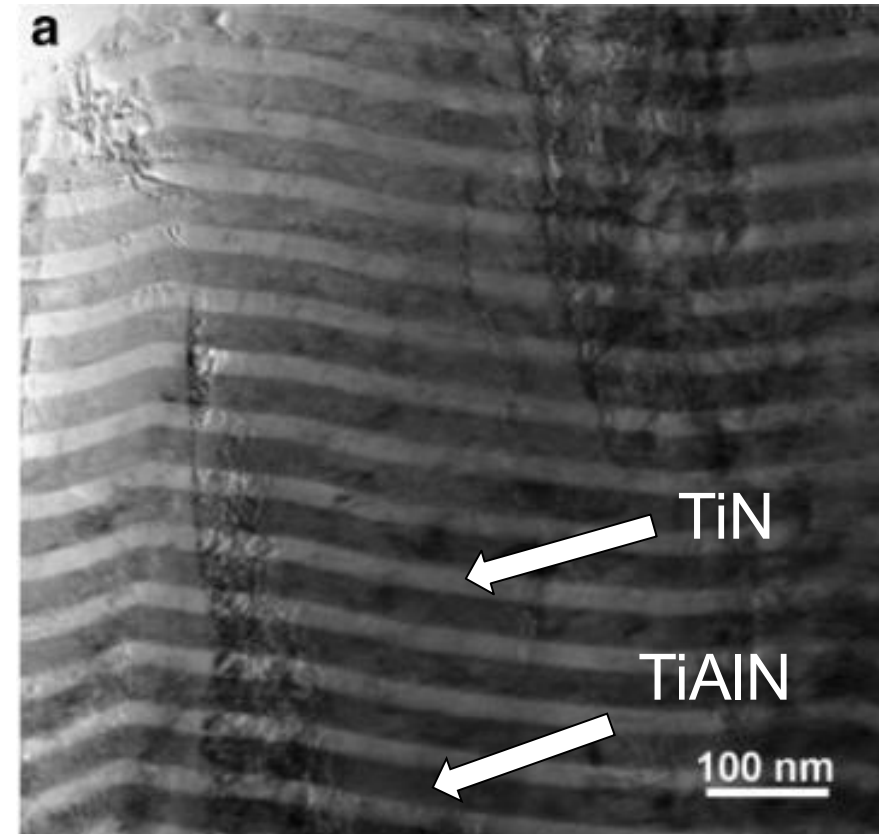
I grafici della slide precedente mostrano come la forza risultante degli utensili rivestiti vada a diminuire con l'aumento delle velocità di taglio e con l'aumento del contenuto di alluminio nei rivestimenti. Questo comportamento è dovuto da due fattori:

- **L'effetto barriera termica:** a velocità più alte il calore presenta più difficoltà a diffondere nella zona di taglio degli utensili rivestiti con conseguenti minori forze richieste per la deformazione del truciolo
- **Diminuzione del coefficiente di attrito:** con l'aumento del contenuto di alluminio si nota un abbassamento generale del coefficiente di attrito medio con una conseguente diminuzione delle forze di taglio.

## Rivestimenti multistrato

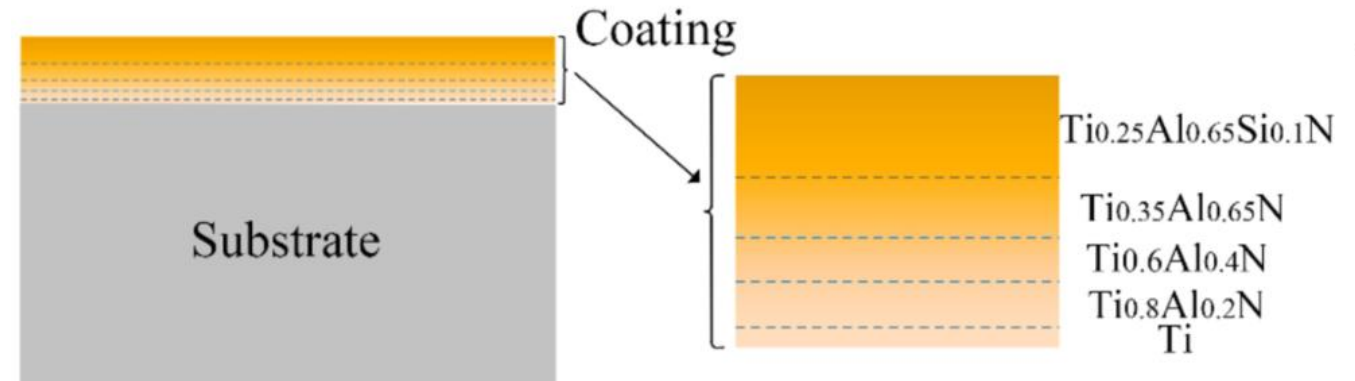
Un ulteriore sviluppo delle proprietà dei rivestimenti è rappresentato dall'aggiunta di uno o più strati di rivestimenti monostrato con lo scopo di ottenere una struttura risultante con proprietà meccaniche e termiche superiori alla somma delle singole componenti.

Risulta particolarmente importante scegliere una combinazione di materiali che garantisca buona adesione con il substrato e tra gli strati stessi.



## Effetto degli elementi in lega

### Effetto del silicio

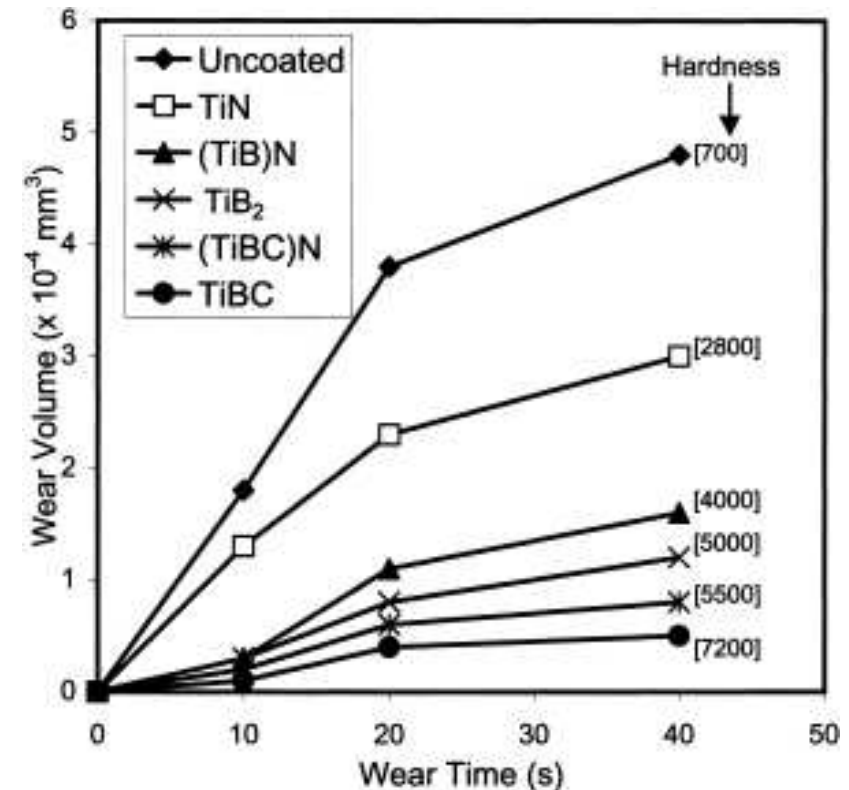


La sintesi di composti ternari e quaternari contenenti silicio come  $TiAlSiN$  ha lo scopo principale di aumentare la resistenza all'ossidazione e la durezza dei rivestimenti, per contro si generano problemi di adesione con il substrato. Per trovare un bilanciamento tra proprietà meccaniche e adesione al substrato sono stati studiati rivestimenti in cui composizione e microstruttura cambiano lungo la direzione di deposizione ottenendo rivestimenti meno propensi al distaccamento del film e alla propagazione di crepe.

## Effetto del boro

Tra i rivestimenti a base di boro, il  $\text{TiB}_2$  è il più comune, presenta un'elevata durezza (fino a 5000 HV), elevata resistenza all'usura e buona stabilità. Le proprietà del  $\text{TiB}_2$  sono dovute alla struttura esagonale caratterizzata da legami covalenti.

L'aggiunta di atomi di carbonio nel reticolo di  $\text{TiB}_2$  consente di aumentare la durezza e di abbassare il coefficiente di attrito.



## Effetto di altri elementi

- L'aggiunta del **cromo** (Cr) e **ittrio** (Y) permette il rafforzamento del grano attraverso la riduzione delle dimensioni della grana cristallina. Si hanno miglioramenti al comportamento di resistenza a ossidazione e diffusione, l'ittrio in particolare inibisce il passaggio di atomi all'interfaccia utensile-truciolo attraverso la formazione di ossidi al bordo dei grani.
- L'aggiunta di **zirconio** (Zr) alla struttura di TiN permette una maggiore stabilità chimica attraverso la formazione di ossidi di zirconio che garantiscono una resistenza all'usura superiore al TiAlN.
- L'aggiunta di **vanadio** (V) alla struttura di TiAlN comporta una maggiore resistenza all'usura ma anche un infragilimento del rivestimento.

## Conclusioni:

- Lo sviluppo delle tecnologie per la deposizione fisica da vapore ha permesso la realizzazione di rivestimenti sottili per utensili, migliorandone le proprietà come la resistenza ad usura abrasiva e adesiva, la stabilità chimica e la resistenza alla fatica termica.
- Un ulteriore sviluppo dei tradizionali rivestimenti a base di titanio è rappresentato dall'introduzione dei rivestimenti multistrato e dall'aggiunta di elementi in lega ai reticoli cristallini dei composti alla base dei film sottili per utensili.
- Miglioramenti nel settore sono costantemente in atto per fronteggiare le richieste sempre maggiori di taglio ad alta velocità, lavorazione di metalli duri e lubrificazione minima, permettendo la riduzione dei tempi di lavorazione e dei tempi di fermo aumentando la produttività.