PVD-Schichten für Antriebselemente

Dipl.-Ing. M. Berger, Balzers, FL

1. Einleitung

Effizienz und Umweltfreundlichkeit von Maschinen stellen immer höhere Anforderungen an die Gebrauchsdauer und Belastbarkeit ihrer Elemente.

Es werden immer genauer gefertigte Bauteile eingesetzt, die praktisch verschleissfrei arbeiten müssen (Präzisionselemente).

PVD-Hartstoffschichten werden seit 1978 aufgrund ihrer hohen Härte und guten Gleiteigenschaften als Verschleissschutz für Präzisionswerkzeuge eingesetzt.

Durch die einzigartige Kombination aus Verschleissfestigkeit, Randzähigkeit und Masstreue gewinnt die PVD-Beschichtung auch für den Verschleissschutz von Präzisionsbauteilen an Bedeutung.

PVD-Beschichtungen

Für den Verschleissschutz werden die plasmaunterstützten Verfahren Aufstäuben (Sputtern) und Aufdampfen (Ionenplattieren) (Abb. 1) eingesetzt.

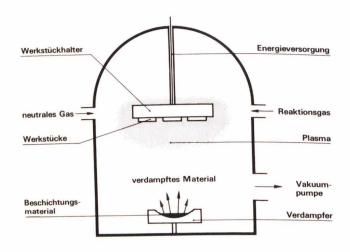


Abb. 1 Schema Ionenplattieren (ionenunterstützes Aufdampfen)

Nach dem Evakuieren und Aufheizen der Werkstücke werden die Werkstück-Oberflächen durch Beschuss mit Edelgas-Ionen vorgereinigt. Damit wird ein Interface erzeugt, welches für eine gute Schichthaftung unerlässlich ist.

Die eigentliche Beschichtung erfolgt durch Verdampfen oder Zerstäuben des Beschichtungsmaterials (z.B. Titan). Durch Zufuhr von Reaktionsgas wird an der Werkstückoberfläche die Hartstoffschicht (Titannitrid) gebildet.

PVD-Schichten sind im allgemeinen 1-5 μm dünn. Damit erfüllen die Maschinenelemente auch nach dem Beschichten die Anforderungen bezüglich Masshaltigkeit und Kantenschärfe. Die Rauheit bleibt praktisch unverändert (Abb.2).

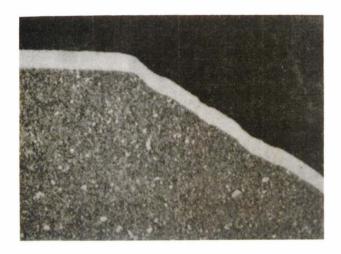


Abb.2 Kante eines PVD-beschichteten Maschinenelementes (Metallographischer Schliff, 1000x)

Das Schichtwachstum erfolgt unter Ionenbeschuss.

Dadurch werden die Schichten feinkörnig und kompakt.
(Abb.3)



Abb.3 Bruchfläche einer TiN-Schicht (REM)

Trotz der hohen Härte sind Schichthaftung und -zähigkeit so hoch, dass selbst bei plastischer Deformation der Oberfläche keine Abplatzungen auftreten (Abb.4).

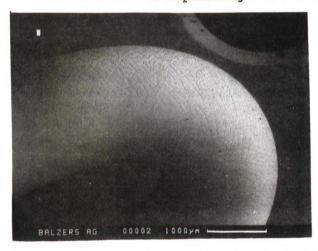


Abb.3 Biegung eines TiN-beschichteten Drahtes, \$\ph\$ 1.5 mm (REM)

Für den Verschleissschutz werden heute verschiedene PVD-Hartstoffschichten eingesetzt. Sie unterscheiden sich vor allem in ihrer Härte und in ihrem Reibwert.

Eigenschaften	Tin	TiCN	WC/C
Mikrohärte HV 0.25 N	2300	3000	1500
Reibwert gegen Stahl, trocken	ca. 0.4	ca. 0.3	ca. 0.2
Schichtdicken	1 - 4 μm	1 - 4 μm	1 - 4 μm
Oxidations-/ Temperatur- Beständigkeit	ca. 600°C	ca. 400°C	ca. 300 °C
Farbe	goldgelb	blaugrau	schwarzgrau

Härte und Reibwert sind massgebend für die tribologische Wirkung der Hartstoffschichten (Abb.5).

Eigenschaften	TiN	Tinc	WC/C
Widerstand gegen: Abrasivverschleiss	++	+++	+
Adhäsivverschleiss	++	++	+++
Reiboxidation	++	nicht gemessen	nicht gemessen
Oberflächenermüdung	nicht gemessen	nicht gemessen	++

Abb.5 Tribologische Wirkung der Hartstoffschichten

Das Verschleissverhalten der Schichten wird aus einfachen Modellversuchen und Feldergebnissen abgeleitet.

Die Auswahl einer geeigneten Beschichtung kann meistens nicht von den Schichteigenschaften oder dem tribologischen Modellverhalten allein abgeleitet werden. Es ist zusätzlich eine genaue Kenntnis des Tribosystems (Abb.6) bzw. eine Analyse des Verschleissmechanismus erforderlich.

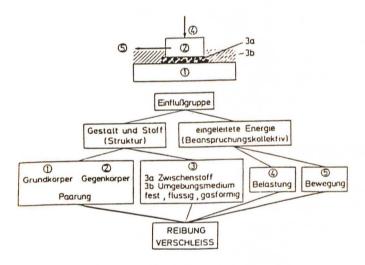


Abb.6 Grundelemente eines Tribosystems

3. Die Balinit-Beschichtung in der Praxis

Kompressorflügel

An den Kanten von Kompressorflügeln treten hohe Flächenpressungen auf. Es kann zum Kontakt der metallischen Reibpartner (Flügel/Hubring) kommen (Abb.7).

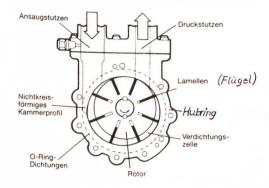


Abb.7 Flügelkompressor

Die BALINIT A - Beschichtung trennt die metallischen Funktionsflächen zuverlässig und mindert dadurch Kaltaufschweissungen und Abrasivverschleiss (Abb.8).

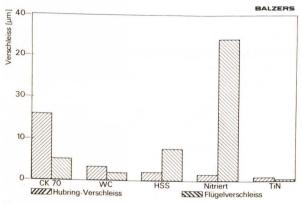


Abb.8 Hubring- und Flügelverschleiss unter Anwendung verschiedener Flügelwerkstoffe

Steuerkolben von Einspritzpumpen

Bei Diesel-Notstromaggragaten kann es an den Steuerkolben der Einspritzpumpe zur Bildung von Passungsrost kommen (Abb.9).

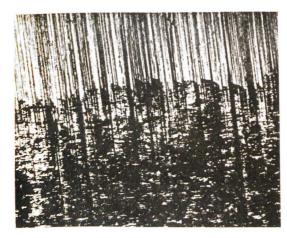


Abb.9 Passungsrost

Durch die TiN-Beschichtung (Abb.10) wird die Bildung von Passungsrost vermieden. Dadurch wird die Anlaufsicherheit erhöht und der Gleitverschleiss im Betrieb reduziert.

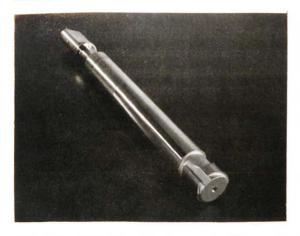


Abb.10 TiN-besch. Steuerkolben einer Einspritzpumpe

Spindellager für Werkzeugmaschinen

Spindeln von Werkzeugmaschinen (Abb.11) werden zuneh men_d mit höheren Drehzahlen betrieben. Trotz aufwendiger Schmierungstechnik treten im Betrieb starke Erwärmung und Oberflächenschäden auf.

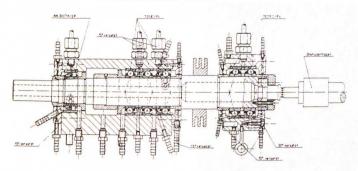
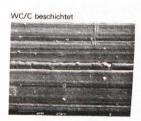


Abb.11 Spindeleinheit

Die BALINIT-Beschichtung wirkt reibungsmindernd und schützt die Kugellager-Laufbahnen gegen Rissbildung und Ausbrüche. Ursache dafür ist der niedrige Reibwert und die hohe Festigkeit und Zähigkeit dünner Hartstoffschichten.





Spindellager 7014 P4 50h, 19 000 U/min, Fettschmierung

Abb.12 Einfluss der BALINIT C-Beschichtung auf den Verschleiss von Lager-Laufbahnen (Quelle: WZL Aachen)

Getriebezahnräder

An Flanken hoch belasteter Getriebezahnräder kann es durch Oberflächenermüdung zu Grübchenbildung kommen (Abb.13).

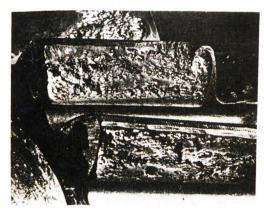


Abb.13 Grübchenbildung an Zahnflanken

Durch WC/C-Beschichtung der Zahnräder wird die Tragfähigkeit zu höheren Lasten verschoben bzw. die Lebensdauer erhöht (Abb.14).

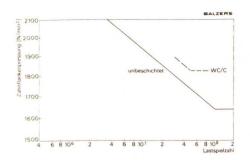


Abb.14 Steigerung der Tragfähigkeit von Zahnrädern durch WC/C-Beschichtung (Quelle: WLZ Aachen)

Ursache dafür ist das gute Einlaufverhalten und die hohe Festigkeit/Zähigkeit dieser Beschichtung.

Pleuellager

Bei Gleitlagerungen (100 N/mm²) führen (gesputterte) Weichmetallschichten AlSn zu höherer Lebensdauer als (galvanische) Schichten aus PbSn (Abb.15).

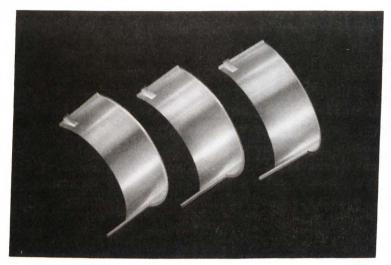


Abb.15 Pleuellagerschale mit AlSn-Sputterschicht

Die Lebensdauererhöhung ist auf die höhere Wechselfestigkeit der AlSn-PVD-Schicht zurückzuführen (Abb.16).

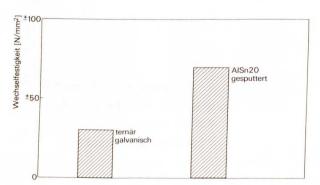


Abb.16 Wechselfestigkeit von PVD- und galvanischer Gleitlagerbeschichtung (Quelle: TU München, Prof. Lang)

4. Grenzen der PVD-Beschichtung

Korrosion

Die Wirkung von BALINIT-Hartstoffschichten in korrosiven Medien hängt von Grundwerkstoff, Schichtmaterial und Medium ab.

Die heute verfügbaren Hartstoffschichten bewähren sich als bedingter Korrosionsschutz auf hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen.

Starker Abrasionsverschleiss

Abrasivverschleiss wird vor allem von der Härte, Grösse, Menge und Geschwindigkeit der abrasiv wirkenden Partikel bestimmt. Herrschen Bedingungen, wo z.B. Hartmetall einige Zehntel mm Verschleiss aufweist, werden dünne Hartstoffschichten trotz höherer Härte keine Problemlösung bringen.

Dauer-Trockenlauf

BALINIT-Hartstoffschichten erhöhen die Lebensdauer von Maschinenelementen in allen Reibungszuständen: bei hydrodynamischer Schmierung, Mischreibung und Trockenlauf.

Da eine Beschichtung aber nicht den Reibwert eines Ölfilms erreicht, kann sie eine Schmierung im allgemeinen nicht ersetzen.

5. Voraussetzungen für PVD-Beschichtungen

Grundwerkstoffe, Wärmebehandlung

Im allgemeinen werden Stähle beschichtet. Um Härteverluste zu vermeiden, sollte die Anlasstemperatur über der Beschichtungstemperatur liegen.

Die Beschichtungstemperaturen betragen 200 - 500°C. Sie hängen von der Art der Schicht, dem Gewicht und den Abmessungen des Werkstückes ab.

Grundhärte

Die Härte des Grundwerkstoffes muss so gewählt werden, dass sie der Schicht bei der gegebenen Flächenpressung ausreichende Stützwirkung bietet. Üblicherweise wird die Grundhärte wie beim unbeschichteten Bauteil gewählt. Ist dieses bruchgefährdet, kann die Härte etwas reduziert und der Grundwerkstoff auf erhöhte Zähigkeit angelegt werden.

Oberflächenzustand

In der Regel wird die Oberflächengüte aufgrund tribologischer Anforderungen und wirtschaftlicher Überlegungen festgelegt. Es gilt allgemein, dass sich mit abnehmender Rauhigkeit der Verschleiss reduziert.

Die BALINIT-Beschichtung verändert die Rauheit praktisch nicht (Ra-Zunahme 0.02 -0.04 μm).

Beim Schleifen ist zu beachten, dass keine Materialaufwerfungen (Abb.17) und keine Schleifhäute (Neuhärtungen) entstehen. Sie können die Ursache für eine schlechte Schichthaftung sein. Durch Wahl schnitthaltiger Schleifstoffe und bei ausreichender Kühlschmierung lassen sich solche Fehler vermeiden.

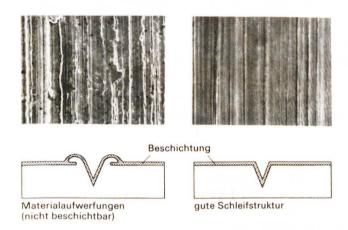


Abb.17 Beschichtbarkeit geschliffener Oberflächen (Quelle: WZL Aachen)

Fremdschichten

Die Oberflächen müssen metallisch blank sein. Bauteile mit Rostflecken oder Zunderschichten können nicht beschichtet werden. Nitrierte Teile sind meist nach einer Feinstrahl-Vorbehandlung beschichtbar.

Geometrie

Aus physikalischen Gründen können tiefe Bohrungen sowie enge, tiefe Schlitze nicht gleichmässig beschichtet werden. Zur Erzielung einer guten Schichthaftung und -verteilung muss das Verhältnis Durchmesser zu Tiefe > 1 sein.

6. Qualitätssicherung

Die Beschichtung erfolgt nach eingehender Abklärung aller für die Qualitätssicherung massgebender Kriterien wie Grundwerkstoff, Härte, Anlasstemperatur und Oberflächenzustand. Das Verfahren wird optimal auf die Maschinenelemente und deren Einsatz abgestimmt.

Computergesteuerte Prozessabläufe garantieren die gleichbleibende hohe Qualität.

Das Beschichtungsergebnis wird durch Verschleissmessungen an Prüfteilen dokumentiert.