

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Kohlenstoffschichten
Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften

VDI 2840

Carbon films
Basic knowledge, film types and properties

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
1 Einleitung und Zielsetzung	2	1 Introduction and objectives	2
2 Geltungsbereich	3	2 Scope of application	3
3 Grundlagen	5	3 Fundamental principles	5
3.1 Kristallgitter des Kohlenstoffs.	5	3.1 Crystal lattice of carbon	5
3.2 Bindungstypen.	6	3.2 Bond types	6
3.3 Atomnetzwerke der amorphen Kohlenstoffschichten	7	3.3 Atomic networks of the amorphous carbon films	7
3.4 Beschichtungsverfahren	8	3.4 Coating methods	8
4 Schichttypen	11	4 Film types	11
5 Schichteigenschaften	24	5 Coating properties	24
5.1 Hinweise für die Bestimmung der Schichteigenschaften	24	5.1 Instructions on determining coating properties	24
5.1.1 Adhäsiv-Verschleißschutz	25	5.1.1 Protection against adhesive wear	25
5.1.2 Abrasiv-Verschleißschutz	26	5.1.2 Abrasive wear protection	26
5.1.3 Schutz gegen Oberflächenzerrüttung	26	5.1.3 Protection against surface fatigue	26
5.1.4 Schutz gegen chemischen Verschleiß	27	5.1.4 Protection against chemical wear	27
5.1.5 Reibungsreduzierung	28	5.1.5 Reduction in friction	28
5.1.6 Benetzbarkeit	28	5.1.6 Wettability	28
5.1.7 Sonderfunktionen	28	5.1.7 Special functions	28
5.1.8 Schichtdicke	29	5.1.8 Film thickness	29
5.1.9 Schichtrauheit	30	5.1.9 Film roughness	30
5.1.10 Farbeindruck und Helligkeit.	31	5.1.10 Colour sensation and lightness	31
5.1.11 Menge Dotierung/Zusatzstoffe	32	5.1.11 Quantity of doping or additives	32
5.1.12 Temperaturbeständigkeit	32	5.1.12 Heat resistance	32
5.1.13 Wärmeleitfähigkeit	33	5.1.13 Thermal conductivity	33
5.1.14 Wärmeausdehnung.	33	5.1.14 Thermal expansion	33
5.1.15 Härte und Elastizitätsmodul	33	5.1.15 Hardness and modulus of elasticity	33
5.1.16 Spezifischer elektrischer Widerstand	34	5.1.16 Specific electrical resistance (electrical resistivity)	34
5.2 Beschichtbare Substratmaterialien	34	5.2 Coatable substrate materials	34
Schrifttum	37	Bibliography	37
Bildnachweis	39	Illustration credits	39
Glossar	40	Glossary	42

VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB)

Ausschuss CVD-Diamant-Werkzeuge

VDI-Handbuch Betriebstechnik, Teil 3
VDI-Handbuch Werkstofftechnik

1 Einleitung und Zielsetzung

Diese Richtlinie behandelt Beschichtungen aus Kohlenstoff, die mit den Verfahren der Vakuumbeschichtungstechnik (PVD oder CVD) abgeschieden werden. Diese modernen Schichtsysteme reichen von den extrem harten Diamantschichten über die große Vielfalt der meist wasserstoffhaltigen amorphen Kohlenstoffschichten bis zu den weichen Graphitschichten. Die Richtlinie verfolgt zwei Ziele: Sie soll zum einen eine einheitliche Einteilung und Nomenklatur der Kohlenstoffschichten schaffen. Zum anderen soll sie dem potenziellen Nutzer von beschichteten Werkstücken eine Vorauswahl von geeigneten Kohlenstoff-Schichttypen ermöglichen.

Aus vielen Bereichen sind Hartstoffschichten nicht mehr wegzudenken. Sie erfüllen vielfältige Zwecke in tribologisch hochbelasteten Anwendungen, z.B. zur Verschleiß- und Reibungsreduzierung. Die klassischen Hartstoffschichten, wie z.B. die titanbasierten Schichten TiN, TiCN und TiAlN, sind in der Industrie bereits weit verbreitet. Darüber hinaus existieren auch kohlenstoffbasierte Schichtsysteme, die noch nicht so bekannt sind. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Schichten zum Teil einen sehr komplexen Aufbau haben. Außerdem existiert eine Vielzahl von verwirrenden Begriffen und Markennamen, die ein leichtes Verständnis für Nichtfachleute erschwert. Besonders schwierig ist dies bei Mehrlagenschichten, die unter einem Schichtnamen angeboten werden. Teilweise werden auch Schichten unter einer falschen Bezeichnung angeboten (z.B. amorphe Kohlenstoffschichten als „Diamantschichten“).

Die vorliegende Richtlinie wendet sich in erster Linie an potenzielle Anwender von Beschichtungen für tribologische Belastungsfälle und stellt für diese Nutzergruppe das grundlegende Fachwissen über Kohlenstoffschichten zur Verfügung. Sie kommt damit dem Wunsch nach, Informationen zu erhalten, um die verschiedenen auf dem Markt angebotenen Kohlenstoffschichten eindeutig identifizieren und vergleichen zu können. Die Richtlinie enthält dazu eine Klassifikation aller Kohlenstoffschichten, mit der alle bekannten Schichttypen auf der Basis der physikalischen und chemischen Beschaffenheit eingeteilt werden. Ein potenzieller Anwender kann so im Gespräch mit Beschichtern den konkreten Typ der angebotenen Schicht oder bei Schichtsystemen die Typen der Einzelschichten klären. Den Beschichtern wird empfohlen, bei der Darstellung ihrer Produkte neben dem Verkaufsnamen auch die Bezeichnung gemäß dieser Klassifikation anzugeben. Es sollte vermieden werden, bei amorphen Kohlenstoffschichten nur den Gattungsbegriff DLC (Diamond-like carbon) anzugeben.

1 Introduction and objectives

The subject of the present VDI guideline is carbon films which are deposited by the vacuum deposition method (PVD or CVD). These modern coating systems extend from extremely hard diamond films at one end of the scale, passing through a wide variety of mostly hydrogenated amorphous carbon films before reaching soft graphite films at the other end. This guideline pursues two aims: firstly, it should provide a uniform classification and nomenclature for carbon films; secondly, it should enable the prospective user of coated workpieces to make a preliminary selection of suitable carbon film types.

In many fields hard coatings have become indispensable. In applications with high levels of tribological load they perform a wide range of duties such as the reduction of wear and friction. The “classic” hard coatings, such as the titanium-based coatings TiN, TiCN and TiAlN, are already in widespread industrial use. In addition, carbon-based coating systems also exist which are not so well known. To make matters more difficult, in some cases these films have a very complex structure. We also find a wide variety of confusing terms and brand names which impede a ready understanding of this field by the non-specialist. This is particularly difficult in case of multilayered films which are available under a single coating name. Sometimes coatings are even offered under an incorrect designation (amorphous carbon films, for example, as “diamond films”).

The present guideline is primarily intended for those considering using coatings for tribological loading cases and provides this user group with basic technical knowledge about carbon films. Thus it supplies the required information to allow the user to unambiguously identify the carbon films which are available on the market and also to compare them. For this purpose the guideline contains a classification of all carbon films which subdivides all known film types on the basis of their physical and chemical nature. This means that in discussions with a coating company a potential user will be able to identify the precise type of a specific coating being offered him or the types of the individual layers in case of coating systems. When presenting their products, coating companies are also recommended to provide alongside the commercial name the corresponding designation according to this classification. In case of amorphous carbon films, suppliers should refrain from providing only the generic term DLC (diamond-like carbon). Instead the specific film type should be