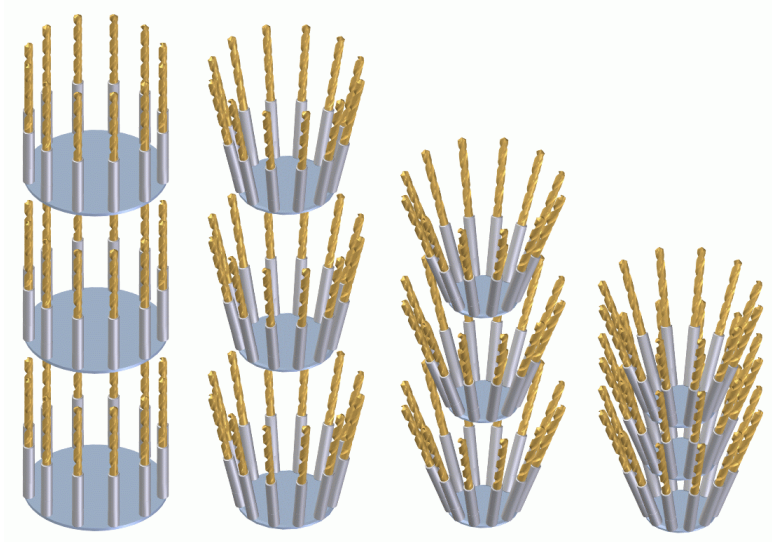


PVD Produktion optimieren

Qualität verbessern und Kosten senken durch den Einsatz optimierter Halterungen bei der PVD Beschichtung.

Dr.- Ing. Stefan Esser, 4pvd, Aachen



Titelbild: Entwicklung zu Substrathaltern mit geeigneten Achsen

Zusammenfassung

PVD Schichten haben sich heute in verschiedensten Anwendungen etabliert z. B. Beschichtungen auf Werkzeugen, Motorenkomponenten und Beschlägen. Jede Anwendung stellt auch andere Anforderungen an die Halterung der Substrate in der PVD Anlage, um die Schicht auf den Funktionsflächen zu verteilen und ihr Wachstum zu steuern. Um konkurrenzfähig zu sein müssen gleichzeitig möglichst viele Substrate in der Beschichtungszone angeordnet werden und die Halterung sollte möglichst für alle Fertigungsschritte geeignet sein. Mit optimierten Halterungssystemen kann hier die Qualität der Schicht gesteigert und die Herstellkosten können gesenkt werden.

Optimized Utilization of PVD Production

Abstract

PVD coatings have established markets in many applications like tool coatings or automotive components. Each application comes with special requirements regarding the fixture, because the orientation of substrates during the PVD process determines the quality and thickness of the applied films. To be competitive as many substrates as possible have to be filled into the PVD reactor and even better the fixture should be suitable for cleaning and coating and shipping in one. Well designed fixtures save time and cost and may improve the coating quality.

Einleitung

Moderne PVD Schichten verbessern heute die Eigenschaften vieler Produkte. Jedoch schrecken die hohen Herstellkosten der Beschichtung auch innovationsfreudige Hersteller ab. Oft sind die Kosten für die PVD Beschichtung ähnlich hoch, wie die komplette Baugruppe ohne Beschichtung.

Die Ursache hierfür liegt im PVD Verfahren. In PVD Anlagen ist nur wenig Platz und die Substrate müssen relativ frei im Raum stehen oder sogar drehen, damit die Schicht die Funktionsflächen erreichen kann. Denn der Sichtkontakt zu den Verdampfern bestimmt Qualität und Dicke der abgeschiedenen Schichten /1, 2/.

Hier können optimierte Halterungssysteme helfen, die die wichtigen Flächen zu den Verdampfern ausrichten und weniger wichtige Flächen „verstecken“. Verglichen zu herkömmlichen Halterungen lässt sich der Füllgrad so mancher PVD Anlage leicht verdoppeln.

Grundlagen

Von den Verdampferquellen (Targets) einer PVD Beschichtungsanlage gehen keulenförmige Dampf Wolken aus. Die Konzentration des Dampfes und die Energie der Teilchen nimmt hierbei nach folgenden Gradienten ab /3/:

- Vom Zentrum des Targets nach außen
- Mit zunehmendem Winkel zur Flächennormalen des Targets
- Mit zunehmender Entfernung vom Target

Bei komplex geformten Substraten können mit einfacher Drehung nicht alle Flächen in die optimale Position zu den Verdampfern gebracht werden. Ebenso ist es kaum möglich alle Substrate gleichmäßig durch alle Zonen Dampfkeule zu bewegen. In der Produktion wird die Bewegung der Substrate meist stark vereinfacht. Im Allgemeinen werden die Substrate auf einem Drehtisch an den Verdampferquellen vorbei bewegt. Hierbei verteilt sich die Dampf Wolke auf dem Umfang des Drehtisches bzw. auf den Substraten, die dort angeordnet sind. Bei Bedarf werden auch die Substrate auf dem Drehtisch dann noch gedreht.

Substratanordnungen mit einer Drehachse

Auf der Mantelfläche des Substrattisches können flache Substrate oder solche angebracht werden, die im Wesentlichen nur an einer Seite beschichtet werden sollen. Hierzu gehören Nadeln, Lochstempel oder Schrauberbits. Die Substrate werden so angeordnet, dass die zu beschichtende Fläche möglichst tangential auf dem Außenumfang des Tisches aufliegt.

Auch Bohrwerkzeuge etc. können in dieser Anordnung (Bild 1) beschichtet werden, wenn man von der Bohrspitze zum Schaft hin eine abnehmende Schichtdicke akzeptiert. Vorteile dieser Anordnung sind:

- Hohe Schichtrate, da die Funktionsflächen immer den Verdampfern zugewandt sind
- Hohe Füllgrade, da keine Mechanismen und Antriebe vorhanden sind.
- Zuverlässig und wartungsarm, da keine Lagerstellen vorhanden sind
- Niedrige Anschaffungskosten, da einfache Konstruktion

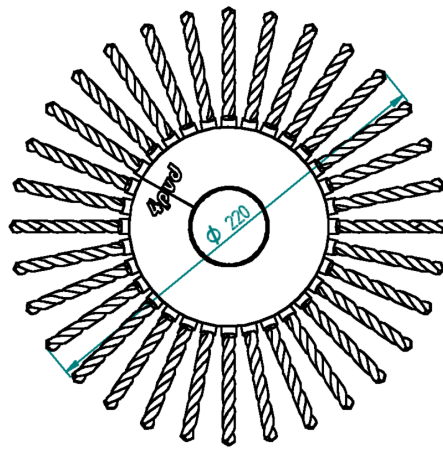


Bild 1: Substratanordnung für Bohrer mit nur einer Drehachse

Nachteilig ist diese Anordnung wenn gleichmäßige Beschichtung rundum oder auf einer Zylinderfläche gefordert ist, oder wenn Substrate länger sind als etwa das 0,4fache des Tischdurchmessers. Für diese Anwendungen empfehlen sich z. B. Substrattische mit mehreren Drehachsen.

Substratanordnungen mit mehreren parallelen Drehachsen

Eine häufige Aufgabe besteht in der Beschichtung von relativ kleinen zylindrischen Substraten (Bohrer, Fräser, Kolbenstangen). Diese werden dann z. B. auf dem Rand des bisher betrachteten Substrattisches angebracht (Bild 2) und zusätzlich um die eigene Achse gedreht. In dieser Anordnung, oft als Planetensystem bezeichnet, wird das Schichtmaterial des Verdampfers auf eine größere Fläche verteilt, als im bisherigen Beispiel.

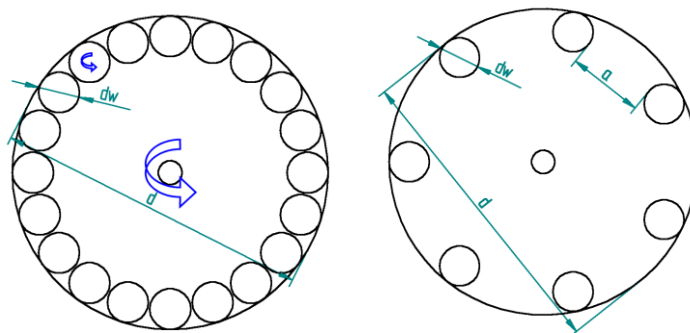


Bild 2: Planetäres Antriebssystem mit verschiedenen Abständen

Würden die Planeten einander berühren, würde die zu beschichtende Fläche gegenüber einem einfachen Zylinder etwa verdreifacht. Ist der Abstand zwischen den Planeten doppelt so groß wie ihr Durchmesser, bleibt die resultierende Oberfläche in etwa gleich dem bisher beschriebenen Zylinder. Bei üblichen Abständen $a \approx d_w$ liegt die Schichtrate auf dem Planetensystem in etwa bei der Hälfte der Schichtrate, die auf einem Zylinder erzielt wird.

Aus wirtschaftlichen Gründen werden noch kleinere Bauteile sogar über eine dritte Achse angetrieben, oft auch Mondsystem genannt. Näherungsweise kann man annehmen, dass jede weitere Drehachse die Anzahl der platzierbaren Zylinder verdoppelt, hierdurch aber auch die Schichtrate auf dem einzelnen Zylinder halbiert.

Substratanordnungen in mehreren Ebenen

Um das Nutzvolumen des Beschichtungsraumes besser zu nutzen, werden Substrate oft in mehreren Ebenen übereinander angeordnet. Sofern nur eine zweidimensionale Beschichtung erforderlich ist, können die Substrate wie voran beschrieben sehr dicht chargiert werden. Bei dreidimensionaler Beschichtung kommen der Abstand der Ebenen zueinander und die Ausführung der Trägersysteme als wichtiger Parameter hinzu.

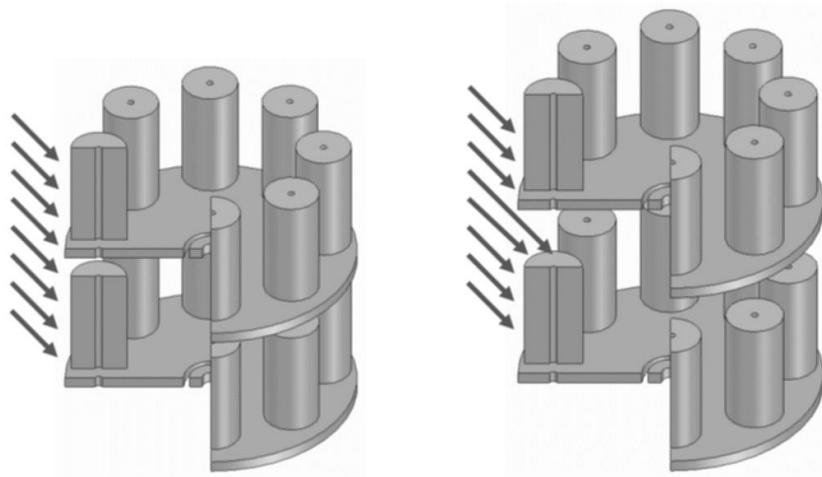


Bild 3: Einfluss des Abstands zweier Ebenen

Je größer der Abstand der Oberkante einer Ebene zur ersten abschattenden Kante der nächsten Ebene, desto höhere Schichtdicke kann auf den Stirnflächen der dargestellten Substrate verglichen mit Ihren Mantelflächen erzielt werden. In Bild 3 sind zur Vereinfachung nur Bahnen von Schichtmaterial dargestellt, die sich auf den Stirnseiten der Substrate ablagern können.

Als Faustregel kann angenommen werden, dass die Ebenen untereinander mindestens ebensoviel Abstand haben sollen, wie das Schichtmaterial in Richtung der Tellermitte eindringen soll (Regel von der Schichtabscheidung in Bohrungen). Da die Stirnseiten der dargestellten Substrate ungünstiger zum Target geneigt sind als die Zylinderflächen, müssen in der Praxis für homogene Schichtdickenverteilung größere Abstände zwischen den Ebenen eingestellt werden.

Substratanordnungen mit geneigten Drehachsen

Die bisher beschriebenen und weit verbreiteten Halterungen ordnen rotationssymmetrische Substrate entweder liegend, d. h. mit der Stirnfläche zum Verdampfer oder stehend d. h. mit der Mantelfläche zu den Verdampfern an. Beide Varianten sind im Hinblick auf die Schichtdickenverteilung ungünstige Extreme. Theoretisch kann nur eine Anordnung mit geneigten Drehachsen der Substrate eine gleichmäßige Schichtdickenverteilung z. B. an einem Spiralbohrer erreichen (Bild 4).

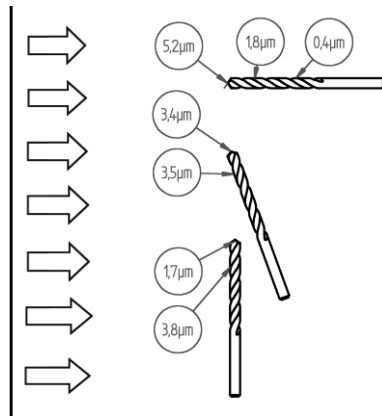


Bild 4: Schichtdickenverteilung in Abhängigkeit von der Neigung

Jedoch sind Anordnung und Antrieb geneigter Drehachsen aufwändig zu realisieren. Eine wesentliche Schwierigkeit liegt im Antrieb der dritten Drehachse. Dieses Problem kann jedoch gelöst werden, wenn der Antrieb der dritten Drehachse aus dem inneren des Tellers heraus erfolgt /4/. Ein Beispiel der Ausführung zeigt Bild 5.

Bei genauerer Betrachtung wird aus dem anfänglichen Nachteil der geneigten Drehachsen (aufwändige Konstruktion) ein beachtlicher Vorteil. Da der Antrieb der dritten Drehachse im Gehäuse des Tellers untergebracht ist, ist er geschützt vor den Einwirkungen des Plasmas und der Beschichtung. Außerdem ist der Antrieb immer mit dem Teller verbunden, und muss nicht bei jedem Beschichtungszyklus neu justiert werden.

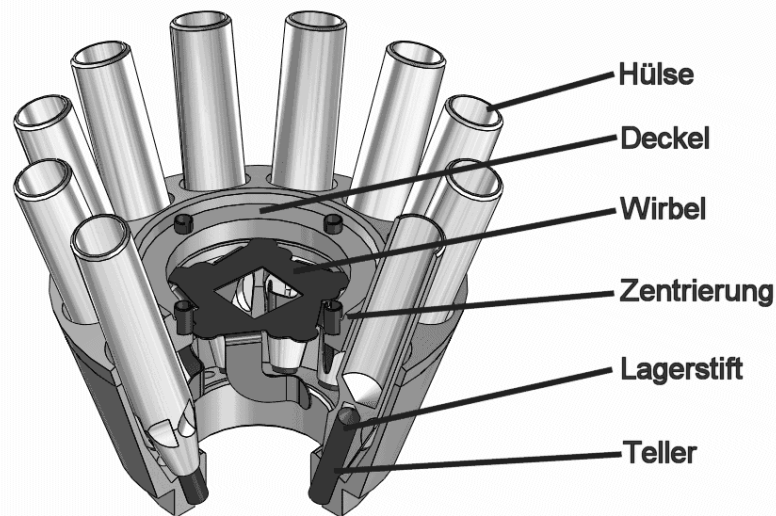


Bild 5: Ausführungsbeispiel für Halterung mit geneigten Drehachsen

Der wohl bedeutendste Vorteil entsteht aber aus der Möglichkeit, die Substrate dichter zu chargieren, ohne dass die Schichtrate oder Qualität an den Funktionsflächen abnimmt. Das Titelbild zeigt, dass durch die Neigung der Drehachsen der Abstand zwischen den Ebenen verringert werden kann, obwohl der Abstand der Substrate zueinander an den Funktionsflächen gleich bleibt.

Die Neigung der Drehachsen der Substrate ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn deren Länge geringer ist als der Durchmesser des Tellers, auf dem sie drehen. Andernfalls kommen die unteren Enden der Substrate einander zu nahe. Auch können bei geneigten Drehachsen

Substrate unterschiedlicher Länge und Durchmesser kaum auf einem Teller kombiniert werden. Aber in der Massenproduktion insbesondere kleiner Substrate kann mit der gezeigten Anordnung der Füllgrad einer PVD Anlage durchaus verdreifacht werden.

Substrathalter in der Massenproduktion

Bei der PVD Beschichtung von großen Serien ist eine gute Raumausnutzung in der PVD Anlage unbestritten ein vorrangiges Ziel. Bei kleinen Substraten wie z. B. Wendeschneidplatten oder Motorenteilen kann aber eine weitere Steigerung des Füllgrades unwirtschaftlich werden, wenn dadurch das Handling der Substrate erschwert wird. Ungünstig sind auch Chargen, in denen mehr als eine Tagesproduktion eines Produktes Platz hat, da sie schlecht in den Produktionsablauf passen.

Wenn bei solchen kleinen Substraten der Erlös je Stück in der Lohnbeschichtung z. B. unter 0,50 EUR liegt, oder wenn in der Produktion die anlagenbezogenen Herstellkosten z. B. unter 0,10 EUR liegen, ist eine Rationalisierung im Handling der Substrate wirkungsvoller als eine Kapazitätssteigerung der PVD Anlage in ähnlicher Größenordnung.

Bild 6 zeigt ein Beispiel für ein PVD beschichtetes Produkt, von dem z. B. 1000 Stück in eine Charge passen. Hieraus ergeben sich für das Beispiel anlagenbezogene Herstellkosten von 0,50 EUR je Stück. Die Kosten je Stück, die außerhalb der PVD Anlage entstehen, richten sich stark nach der Notwendigkeit einzelne Substrate in die Hand zu nehmen. Diese variieren im Beispiel von 0,30 EUR für den Fall dass ein einziges Halterungssystem für den gesamten Produktionsprozess verwendet werden kann bis hin zu 0,75 EUR für den Fall, dass die Halterung im Verlauf des Produktionsprozesses 2 mal gewechselt werden muss.

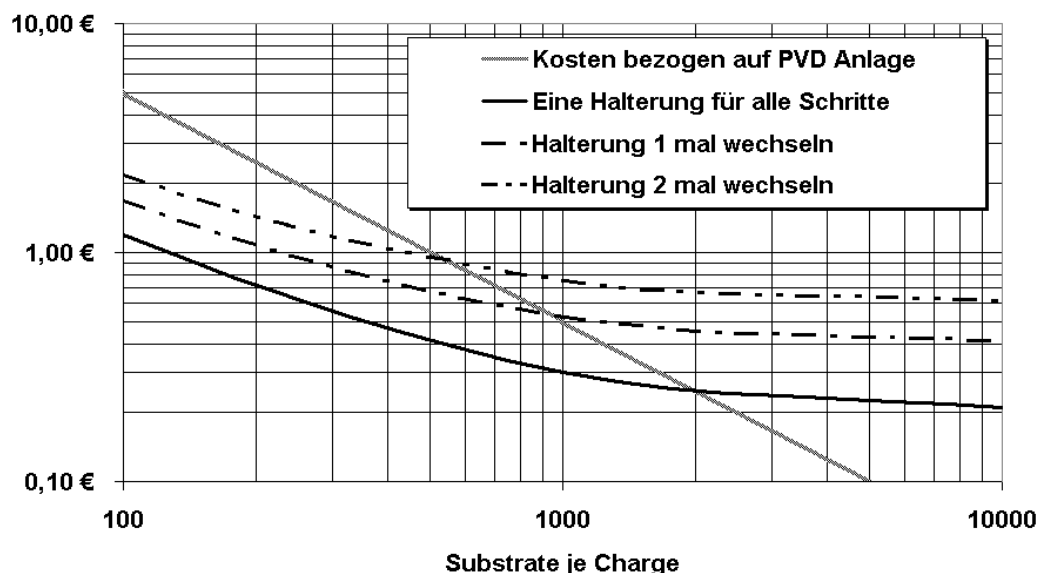


Bild 6: Produktionskosten durch PVD Beschichtung und Handling

Das Beispiel zeigt, dass eine Verdopplung des Füllgrades der PVD Anlage erforderlich ist, um eine gleichwertige Rationalisierung zu erzielen wie die Elimination eines Schrittes in der Handhabung. Im Gegenzug kann durchaus eine Kapazitätseinbuße von 30% in der PVD Anlage ökonomisch sinnvoll sein, wenn im Gegenzug das Handling entsprechend vereinfacht werden kann.

Allerdings müssen Halterungen, die für mehrere Schritte der PVD Produktion verwendet werden, strengeren Anforderungen genügen, als reine PVD Halterungen. Z. B. sollten Halterungen für Beschichtung und Reinigung korrosionsbeständig sein. Dies ist ein Ausschlusskriterium für die meisten heute verwendeten Magnetwerkstoffe. Außerdem sollten Zwischen Halterungen und Substraten möglichst keine großflächigen Spalte vorkommen, in denen sich das flüssige Reinigungsmedium ansammeln kann. Ideal sind z. B. Halterungen, die die Substrate nur in Punkten berühren.

Solche Halterungen können zu Spießen aneinander gereiht werden (Bild 7) und Substrate mit planparallelen Flächen während der Reinigung, der Beschichtung und eventuell noch während weiterer Behandlungsschritte verwendet werden.

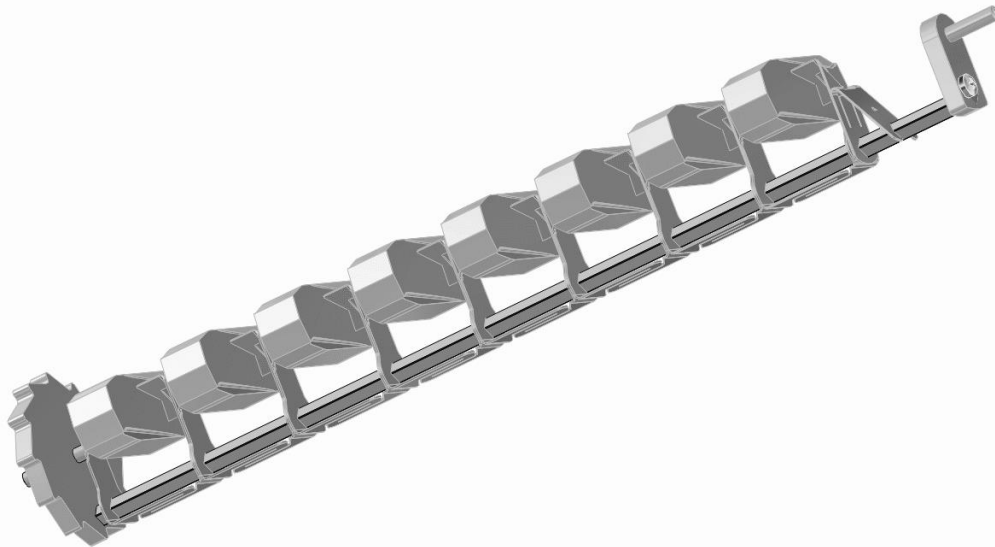


Bild 7: TongS Halterung für den Einsatz in mehreren Schritten der PVD Produktion

Halterungen wie oben beschrieben bergen erhebliche Potenziale für Rationalisierung und Steigerung der Qualität. Allerdings sind diese Steigerungen meist mit einer höheren Spezialisierung der Halterung auf ein bestimmtes Produkt hin verbunden. Daher müssen in jedem Fall zunächst das vorhandene und das mögliche Auftragsvolumen überprüft werden.

Zusammenfassung

Neue Produkte mit PVD Beschichtung müssen heute exakt kalkuliert werden und erfordern angepasste Halterungssysteme. Hierbei geht es meist, aber nicht immer um die optimale Ausnutzung des Beschichtungsraumes. Bei kleinen Substraten wird zunehmend das gesamte Handling der Produkte von der Warenannahme bis hin zum Versand interessant, da die Kosten für Logistik und Umladen der Substrate hier höher sein können als die eigentlichen Kosten der Beschichtung

Schon bei der Anbahnung neuer Aufträge müssen die Möglichkeiten und Grenzen der Halterungssysteme bekannt sein, um ein passendes Angebot abgeben zu können. Für die Bemusterung wird oft aus Kosten- und Zeitgründen ein provisorisches Halterungssystem verwendet, welches dann für die spätere Produktion eine ungünstige oder unwirtschaftliche Anordnung der Substrate festlegt. Dies alles zeigt, wie wichtig die richtige Auslegung der Substrathalterungen in jeder Phase des Produktlebenszyklus ist. Sinnvolle Anordnungen von Beginn an können Zeit und in der laufenden Produktion täglich Ressourcen sparen.

Literatur

1. Leyendecker T. Dünne Beschichtungen zur funktionalen Beschichtung technischer Oberflächen, Sprechsaal Vol 120, Nr. 8 Jg. 1987, Coburg 1987
2. Bouzakis K. Wear development on cemented carbide inserts coated with variable film thickness in the cutting wedge region, Surface and coating Technology 188-189 (2004) 636-643
3. Frey, H., Kienel G. Dünnschichttechnologie, VDI Verlag Düsseldorf 1987
4. N. N. Gebrauchsmuster DBGM 20 2004 009 265.5

Dr.-Ing. Stefan Esser wurde 1960 in Aachen geboren, hat an der RWTH Aachen Maschinenbau mit Schwerpunkt Konstruktionstechnik studiert und 1995 promoviert.

Seit 1987 ist er in verschiedenen Gebieten der PVD Technik tätig, seit 2003 mit dem Schwerpunkt Substrathalterungen.

4pvd Dr.-Ing. Stefan Esser
Richtericher Str. 80
D-52072 Aachen
Tel.: +49 241 17 44 50
Fax: +49 241 17 44 60
stefan.esser@4pvd.de
www.4pvd.de



Bild 1: Substratanordnung für Bohrer mit nur einer Drehachse.....	3
Bild 2: Planetäres Antriebssystem mit verschiedenen Abständen	3
Bild 3: Einfluss des Abstands zweier Ebenen	4
Bild 4: Schichtdickenverteilung in Abhängigkeit von der Neigung.....	5
Bild 5: Ausführungsbeispiel für Halterung mit geneigten Drehachsen.....	5
Bild 6: Produktionskosten durch PVD Beschichtung und Handling.....	6
Bild 7: TongS Halterung für den Einsatz in mehreren Schritten der PVD Produktion.....	7