

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Beschichten von Werkzeugen
der Kaltmassivumformung
CVD- und PVD-Verfahren

VDI 3198

Coating (CVD, PVD)
of cold forging tools



Inhalt	Seite
1 Einführung, Begriffe	2
1.1 Aus der Gasphase aufgebraute Hartstoffschichten	2
1.1.1 CVD-Verfahren	2
1.1.2 PVD-Verfahren	3
2 Anforderungen an die Trägerwerkstoffe für eine Beschichtung	4
2.1 Stahlauswahl und Wärmebehandlung	4
2.1.1 Schnellarbeitsstähle	4
2.1.2 Ledeburitische 12%ige Chromstähle mit Sekundärhärtema- ximum	4
2.2 Hartmetalle	4
3 Konstruktive Forderungen an das Werkzeug	5
4 Vorbehandlung der Werkzeuge	6
5 Prüfmöglichkeiten an beschichteten Werkzeugen	7
5.1 Sichtprüfung	7
5.2 Prüfung der Oberflächenrauheit	7
5.3 Prüfung der Schichtdicke	7
5.4 Prüfung der Schichthaftung	8
Schrifttum	8

VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB)

Ausschuß Kaltmassivumformung
Unterausschuß Werkzeuge

VDI-Handbuch Betriebstechnik, Teil 3

1 Einführung, Begriffe

Die Wirtschaftlichkeit von Verfahren der Kaltmas-
sivumformung hängt entscheidend von den Werk-
zeugkosten und somit von der Werkzeugstandmenge
ab. Die Standmenge wird durch die Versagenskrite-
rien Bruch und Verschleiß bestimmt. Dabei spielt
zwar der Bruch eine größere Rolle, jedoch kann die-
ser mit Hilfe der heute verfügbaren Berechnungsme-
thoden für leichte und mittelschwere Umformungen
nahezu ausgeschlossen werden, so daß doch oft der
Verschleiß das ausschlaggebende Ausfallkriterium
ist. Der Werkzeugverschleiß beeinflusst die Maßhal-
tigkeit und die Oberflächenqualität der gefertigten
Werkstücke.

Die für die Umformtechnik in Betracht kommenden
Verschleißschutzschichten, Bild 1, lassen sich unter-
teilen in zwei Hauptgruppen:

- Reaktionsschichten, bei denen das Legierungsele-
ment durch Diffusion oder Implantation in den
Grundwerkstoff eingebracht worden ist
- Aufgeschichten, bei denen die Schicht deutlich
vom Grundwerkstoff abgegrenzt ist

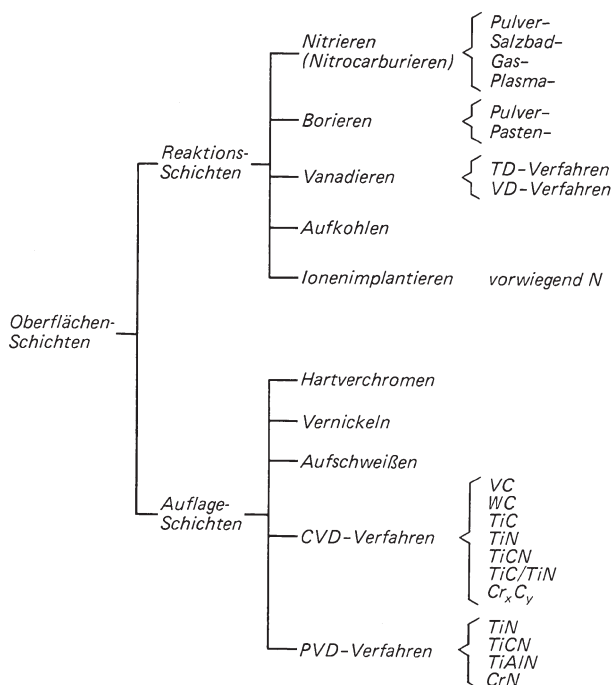


Bild 1. Verschleißschutzschichten und Beschichtungsverfahren für die Umformtechnik

Bewährte Verfahren zur Erzeugung von Auflage-
schichten sind das CVD- und PVD-Beschichten, da
die Standmenge sich hierdurch mehr als verdoppeln
läßt.

Für den Anwender ist eine Kenntnis der erforderli-
chen Vor- und Nachbehandlung der zu beschichten-
den Werkzeuge und der Anwendungsgrenzen der
einzelnen Beschichtungsverfahren hinsichtlich Tem-
peratur, Werkzeugwerkstoff und Werkzeuggeometrie
unerlässlich.

Kriterien für die Auswahl eines Beschichtungsverfah-
rens sind u.a. — abgesehen von wirtschaftlichen
Überlegungen — die verschleißmindernde Wirkung,
die Art, Härte und Dicke der Schicht, ihre Haftfestig-
keit sowie auch die Beschichtungstemperatur. Anga-
ben hierüber — soweit diese in allgemeiner Form
möglich sind — finden sich in Abschnitt 1.2.

Weitere Verfahren sind im VDI-Bericht Nr. 866 „Be-
schichtung hochbeanspruchter Bauteile“ sowie im
VDI-Bericht 702 „Prüfen und Bewerten von Oberflä-
chenschutzschichten“ beschrieben.

1.1 Aus der Gasphase aufgebrachte Hartstoffschichten

1.1.1 CVD-Verfahren

Als CVD Verfahren (Chemical Vapour Deposition)
bezeichnet man das chemische Abscheiden von Fest-
stoffen aus der Gasphase, Bild 2. Zwei oder mehrere
gasförmige Komponenten umströmen das zu be-
schichtende Werkstück bei Beschichtungstemperatu-
ren von 800 °C bis 1050 °C. Die Komponenten wer-
den unter Einbeziehung der Werkstückoberflächen
des Trägerwerkstoffes zur Reaktion gebracht und bil-
den auf diesen Oberflächen fest haftende Schichten.

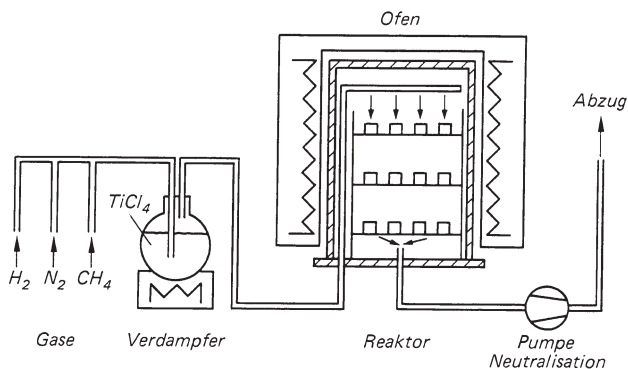


Bild 2. CVD-Verfahren

Die Beschichtungstemperaturen haben auf das zu beschichtende Werkzeug und die Schichtauswahl einen maßgeblichen Einfluß. Dies ist bei der Werkstoffauswahl des Trägerwerkstoffes und der Abschätzung der erreichbaren Genauigkeiten zu berücksichtigen.

Mit dem CVD-Verfahren lassen sich eine sehr große Anzahl von Schichten und eine Vielfalt von Schichtmaterialien realisieren. Dies ermöglicht anwendungsorientierte Schichtkombinationen, wobei die Abstimmung von Trägerwerkstoff und Schichtenfolge eine wichtige Rolle spielt.

CVD-Schichten verfügen über eine sehr hohe Haftfestigkeit im gesamten Funktionsbereich. In der Regel kommen Schichtdicken im Bereich von 5 µm bis 10 µm zum Einsatz; es können aber auch Schichtdicken von 20 µm abgeschieden werden. Bei entsprechenden CVD-Anlagensystemen läßt sich die Schichtdicke auf $\pm 15\%$ reproduzierbar einstellen, was für die Herstellung und Zuverlässigkeit von Viel-lagenschichten Voraussetzung ist.

Für die Umformtechnik haben sich vor allem die Mehrlagenschichten TiC-TiCN-TiN als universeller Hochleistungsstandard sowie die sehr harte polylaminare Monoschicht TiC bewährt. Darüber hinausgehende Leistungsoptimierungen sind angesichts CVD-typischer Varianzbreite möglich, erfordern jedoch eine enge Abstimmung mit dem Beschichtungsunternehmen.

Werkzeuge mit engen Toleranzen werden in der Regel in gehärtetem oder angelassenem Zustand beschichtet und anschließend erneut vom Beschichtungsbetrieb im Vakuum gehärtet und angelassen. Nichtfunktionelle Flächen können mit Aufmaß ausgeführt und nachträglich auf Maß geschliffen werden.

1.1.2 PVD-Verfahren

Beim PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) wird das Beschichtungsmaterial aus einer Schmelze (Verdampfen) oder einem Feststoff atomar in die Gasphase überführt. In technischen Prozessen wird dabei nur die Metallkomponente der Hartstoffverbindung (z.B. Ti, Al, Cr) verdampft oder zerstäubt und die Nichtmetallkomponente (N, C) als Gas zugeführt. Die Temperaturbelastung der Trägerwerkstoffe liegt zwischen 200 °C und 600 °C. Für Werkzeuge der Kaltmassumformung werden PVD-Schichten üblicherweise bei ca. 450 °C abgeschieden.

Abgrenzung der PVD-Verfahren

Die wichtigsten PVD-Verfahren unterscheiden sich durch die Quelle, die den Metaldampf erzeugt und durch den Ionisierungsgrad des Metaldampfes.

Beim PVD-Beschichten mit *Lichtbogenverdampfer* (Arc-Verdampfer), Bild 3, wird auf einem als Ka-

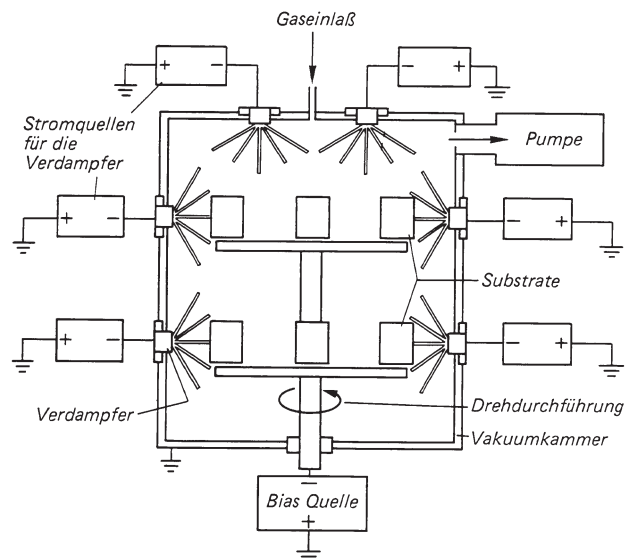


Bild 3. PVD-Anlage mit Lichtbogenverdampfern (Arc-Verdampfern)

thode geschalteten und lageunabhängigem Target ein Lichtbogen gezündet, der zum punktuellen Verdampfen des Materials führt; der Ionisierungsgrad des Materials und die Anfangsenergie der Ionen sind bei diesem Verfahren am höchsten, so daß sehr dichte, haftfeste Schichten entstehen. Beim Aufschmelzen des Targetmaterials können jedoch feinste Droplets entstehen und in die Schicht eingebaut werden, die aber nur in wenigen Anwendungsfällen nachteilig sind.

Beim PVD-Beschichten mit *Niedervoltbogenverdampfer*, Bild 4, wird die Verdampfung und Ionisierung des Beschichtungsmaterials mit einem auf einen Tiegel (Anode) gerichteten Niedervoltbogen erreicht.

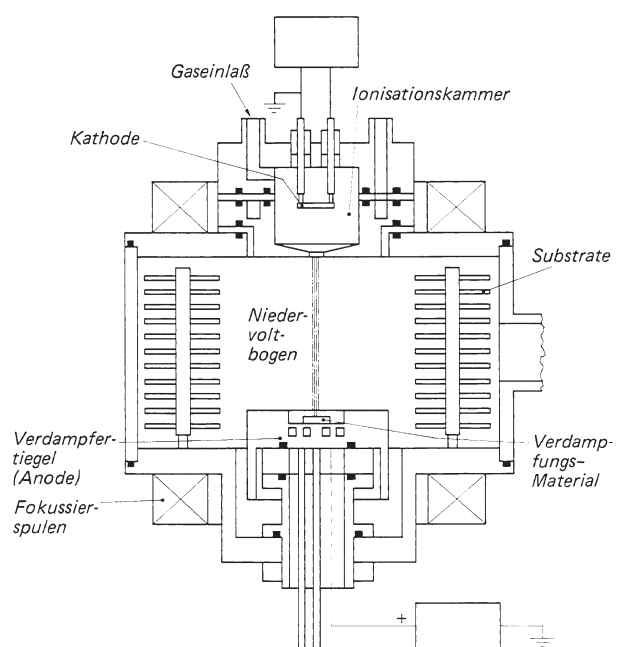


Bild 4. Prinzip einer PVD-Beschichtungsanlage mit Niedervoltbogenverdampfer (Ionitron)

Der Ionisierungsgrad bei diesem Prozeß ist geringer als bei der Lichtbogenverdampfung, aber für eine gute Schichthaftung und ein feinkörniges Schichtgefüge ausreichend. Droplets des verdampfenden Materials treten nicht auf.

Geringe Bedeutung für Werkzeuge des Kaltmassivumformens hat z.Z. die PVD-Beschichtung mit „Magnetron“-Sputterquellen. Hierbei wird aus einem als Kathode geschalteten Target durch Beschuß mit Argonionen Material mit einem niedrigen Ionisierungsgrad in die Gasphase überführt.

Bei PVD-Beschichtungen mit *Hohlkathodenbogenverdampfer* werden Ionisierungseigenschaften erreicht, die ähnlich denen des Niedervoltbogenverdampfers sind. Das Verfahren wird z.Z. nur selten angewendet.

Allgemein kann gesagt werden, daß die niedrigen Prozeßtemperaturen bei der PVD-Beschichtung ein Beschichten ohne Verzugsgefahr und Härteverlust ermöglichen. Voraussetzung ist jedoch ein mehrfaches Anlassen oberhalb der Beschichtungstemperatur. Vorteilhaft wirkt sich die geringe Beschichtungstemperatur auch bei Werkzeugen mit einem hohen *L/D*-Verhältnis aus.

Die Rauheit der Schichtoberfläche ist abhängig vom Beschichtungsverfahren und der Rauheit der Substrate.

2 Anforderungen an die Trägerwerkstoffe für eine Beschichtung

Von den Werkstoffen für Werkzeuge der Kaltmassivumformung werden folgende grundlegende Eigenschaften verlangt:

- hohe Härte
- hohe Druckfestigkeit
- ausreichende Zähigkeit
- hoher Verschleißwiderstand
- ausreichende Anlaßbeständigkeit

Voraussetzung für den Erfolg einer Beschichtung ist eine gute Haftung zwischen Schicht und Trägerwerkstoff. Des weiteren muß der Trägerwerkstoff der dünnen Hartstoffschicht eine ausreichende Stützwirkung bieten.

Dieses Anforderungsprofil wird insbesondere von den Schnellarbeitsstählen, von der Gruppe der ledeburitischen 12%igen Chromstähle sowie vom Hartmetall erfüllt.

2.1 Stahlauswahl und Wärmebehandlung

Die Beschichtung der Werkzeuge aus Stahl erfolgt in der Regel im gehärteten und angelassenen Zustand nach der Feinbearbeitung. Eine Beschichtung nach den PVD-Verfahren erfordert üblicherweise Prozeßtemperaturen von ca. 450 °C. Die Anlaßtemperatur der Werkzeuge sollte aus diesem Grunde mindestens 500 °C betragen, um die Gefahr eines Härteabfalls oder von Gefüge- und Maßänderungen während der Oberflächenbehandlung einzudämmen. Das bedeutet, daß der Grundwerkstoff eine entsprechende hohe Anlaßbeständigkeit haben muß. Stähle ohne Sekundärhärtemaximum werden daher nicht empfohlen.

2.1.1 Schnellarbeitsstähle

Der Standardstahl für Werkzeuge mit hoher Anforderung an die Zähigkeit ist Werkstoff 1.3343. Bei höherer Verschleißbeanspruchung werden die Stähle 1.3344 und 1.3207 bzw. analytisch oder eigenschaftsähnliche, auf pulvermetallurgischem Weg erzeugte Schnellarbeitsstähle eingesetzt.

Empfehlungen für verschiedene Werkzeuge der Kaltmassivumformung gibt Tabelle 1. Für die aufgeführten Werkzeugtypen ist grundsätzlich die Anwendung von Härtetemperaturen im unteren Härtetemperaturbereich (Angaben siehe DIN 17350) vorzusehen. Das Anlassen sollte generell dreimal bei Temperaturen > 550 °C erfolgen.

2.1.2 Ledeburitische 12%ige Chromstähle mit Sekundärhärtemaximum

In den Empfehlungen der Tabelle 1 ist der am häufigsten eingesetzte Stahl dieser Gruppe aufgeführt. Vorzugsweise finden legierte Sonderstähle, wie beispielsweise der Werkstoff 1.2379, Verwendung. Bei der Wärmebehandlung dieser Stähle sollte die Härtetemperatur ca. 1050 °C betragen und ein dreimaliges Anlassen bei ca. 500 °C erfolgen. Das mehrfache Anlassen stellt sicher, daß der Restaustenit, der bei derart hohen Härtetemperaturen in diesen Stählen entsteht, in Martensit umgewandelt wird. Ansonsten könnte Restaustenit sich während der Beschichtung bei Temperaturen von 450 °C bis 480 °C umwandeln und zu Maßänderungen der Werkzeuge führen.

2.2 Hartmetalle

Werkzeuge aus Hartmetall lassen sich ebenfalls durch Beschichten mit dem CVD- oder PVD-Verfahren in ihren Verschleißigenschaften verbessern. Bei der Auswahl des Werkstoffes sollte die Empfehlung des Hartmetall-Lieferanten eingeholt und mit den Beschichtern abgestimmt werden, denn ein Ausfall dieser Werkzeuge liegt nach dem heutigen Erfahrungsstand der Anwender meist bei der Verwendung eines falschen Grundwerkstoffes.

Tabelle 1. Hartstoffbeschichtungen von Werkzeugen für die Kaltmassivumformung: empfohlene Werkzeug- und Schnellarbeitsstähle, Einbauhärtungen und Beschichtungsverfahren

Werkzeug	Nr.	Werkzeugtyp	Werkstoff-Nr. ¹⁾	Gebrauchshärte HRC	Beschichtungsverfahren	
					PVD	CVD
Dorne, Stempel und Matrizen	1	Dorne zum Napf-rückwärtsfließpressen	1.3343 1.3344 ²⁾ 1.3207 ²⁾	60 bis 63 62 bis 65 63 bis 66	×	×
	2	Dorne zum Lochen	1.3343 1.3344 ²⁾	61 bis 63	×	
	3	Haltedorne	1.2379 1.3343	58 bis 60 60 bis 62	×	
	4	Ziehborne zum Abstreckgleitziehen	1.2379 1.3343	58 bis 60 60 bis 64	×	
	5	Stempel zum Pressen von Muttern u.ä.	1.3343 1.3344 ²⁾	58 bis 62	×	×
	6	Abgratstempel (Abgratmatrizen)	1.3343	61 bis 63	×	×
	7	Kreuzschlitzstempel	1.3343 1.3344 ²⁾	60 bis 63		×
	8	Ziehborne, Matrizeinsätze ³⁾ (insbesondere zum Reduzieren)	1.3343 1.2379 1.3344 ²⁾	58 bis 64		×

¹⁾ Werkstoffnummer nach DIN 17007; chemische Zusammensetzung nach DIN 17350

²⁾ auch als PM-Stahl in Anwendung

³⁾ Außer den genannten Stählen werden in der Praxis auch Maraging-Stähle sowie legierte Kaltarbeits- und Warmarbeitsstähle verwendet.

3 Konstruktive Forderungen an das Werkzeug

Das PVD- bzw. CVD-Beschichten von Umformwerkzeugen ist wirtschaftlich sinnvoll, wenn die übliche Ausfallursache *Verschleiß* infolge mechanischen Abriebes ist.

Versagen Umformwerkzeuge durch Bruch infolge von Biegung oder Überlastung, so empfiehlt es sich, zuerst die Ursache dafür festzustellen und zu beseitigen, bevor solche Teile beschichtet werden.

Beispielhafte Werkzeugtypen sind in Tabelle 1 angegeben.

Alle Arbeitsflächen von Umformwerkzeugen, die als Schutz gegen Abrasivverschleiß nach dem PVD- oder CVD-Verfahren beschichtet werden sollen, müssen vor dem Beschichten riefenfrei, möglichst in Fließrichtung, feinbearbeitet werden.

Empfohlene Rauhtiefe: $R_z < 1 \mu\text{m}$

Als vorteilhaft kann sich erweisen, diese Werkzeuge vor und nach dem Beschichten einem weiteren Finishverfahren zu unterziehen.

Grenzwerte für das L/D -Verhältnis von beschichteten Dornen, wenn die Mittelabweichung nach der Behandlung $< 0,01 \text{ mm}$ sein muß, gehen aus Bild 5 hervor.

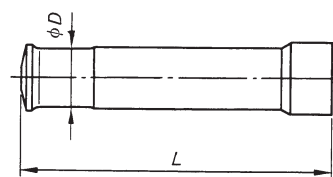


Bild 5. L/D -Verhältnis bei Dornen

CVD-Beschichtung:

$L < 10 D$ für Stahl

$L < 15 D$ für Hartmetall

PVD-Beschichtung:

$L < 20 D$

Die Grenze für die optimal beschichtbare Tiefe von Bohrungen liegt für die PVD-Beschichtung bei $L \approx D$, Bild 6. Für die CVD Beschichtung gibt es keine Begrenzung.

Die Grenze für das D/L -Verhältnis von beschichteten Platten, wenn die Durchbeulung nach der Behandlung $< 0,02 \text{ mm}$ sein muß, ist Bild 7 zu entnehmen.

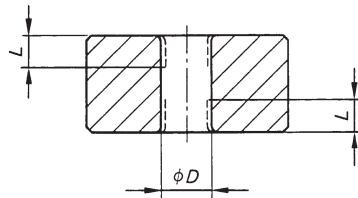


Bild 6. Beschichtbare Bohrungstiefe

PVD-Beschichtung:
 $L \approx D$

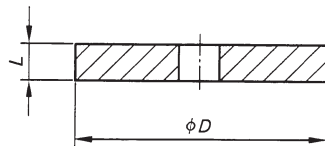


Bild 7. D/L -Verhältnis bei beschichteten Platten

CVD-Beschichtung:
 $D < 7 L$ für Stahl
 $D < 15 L$ für Hartmetall

PVD-Beschichtung:
 $D < 20 L$

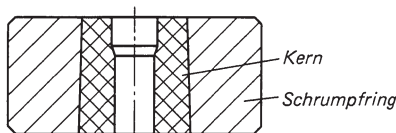


Bild 8. Vorgespannte Matrice

Das Beschichten von vorgespannten Matrizen erfolgt üblicherweise, indem der Kern nach Fertigstellung der Matrizen ausgepreßt, beschichtet und wieder eingepreßt wird, Bild 8.

An grazilen Formen (z.B. Kreuzschlitzstempeln) wird das Brechen scharfer Kanten üblicherweise vom Beschichter selbst vorgenommen. Auf der Zeichnung des Werkzeuges müssen die Funktionsflächen gekennzeichnet sein.

Übliche Schichtdicken

bei CVD-Schichten:

Dorne und Stempel 3 μm ,
bei anderen Werkzeugteilen 6 μm bis 9 μm

bei PVD-Schichten:

Dorne und Stempel 3 μm ,
bei anderen Werkzeugteilen 2 μm bis 5 μm

Unter allen Umständen sollte eine Abstimmung mit dem Beschichter erfolgen.

4 Vorbehandlung der Werkzeuge

Die Qualität der CVD- und PVD-Beschichtung hängt davon ab, wie das Werkzeug und insbesondere seine zu beschichtende Oberfläche vorbehandelt wurden.

Zustand	Anmerkungen	CKD	PVD
Anlaßbeständigkeit	muß $> 450^\circ\text{C}$ sein	—	×
Lötstellen	temperatur- und vakuumbeständige Hartlote verwenden; Lötstellen müssen poren- und flußmittelfrei sein; nicht zulässig für CVD-Verfahren	—	×
Verschraubte, zusammengesetzte Werkzeuge	möglichst vermeiden oder unbedingt als solche kennzeichnen; vor der Beschichtung demontieren	×	×
Entlüftungsbohrungen	müssen rückstandsfrei sein	×	×
Bohrungen, Hinterschliffe, Chargierbarkeit	Abstimmung über Schichtdickenverteilung, Funktionsfläche, Zeichnungshinweis erforderlich	×	×
Härtesalzreste	nicht zulässig	×	×
Oxidhäute, Brünnierungen u.ä.	möglichst bei der Vorbehandlung vermeiden; müssen auf jeden Fall entfernt werden	×	×
geschliffene Partien	gratfrei; keine Brandflecken, keine Schleifhäute zulässig	×	×
Rauheit	$R_z < 1 \mu\text{m}$	×	×
Polierte Flächen	auf entsprechenden Transportschutz achten, keine Druckpolituren verwenden; Poliermittelrückstände sind nicht zulässig	×	×
funkenerodierte Flächen	besondere Absprachen mit dem Beschichter notwendig; weiße Randschichten unbedingt entfernen	×	×
nitrierte/carbonitrierte Werkzeuge	besondere Absprachen mit dem Beschichter notwendig	×	×
gebrauchte Werkzeuge	besondere Absprachen mit dem Beschichter notwendig	×	×
silikonhaltige Hilfsstoffe	Silikonhaltige Emulsionen oder Öle dürfen während der gesamten Fertigung nicht verwendet werden.	—	×

Bild 9. Checkliste für die Vorbehandlung der Werkzeuge

Erfahrungsgemäß muß auch auf Fehler hingewiesen werden, die sich beim Versand der zu beschichtenden Werkzeuge einschleichen können. Empfohlen werden chemisch neutrale, sichere und stabile Transportverpackungen, die eine Wiederverwendung ermöglichen. Als Korrosionsschutz sollten hochviskose wasserdrängende silikonfreie Öle verwendet werden.

Einen großen Teil notwendiger Vorbereitungsaufgaben können auch die Beschichter leisten. Aus Kostengründen und zur Gewährleistung einer reibungslosen Auftragsabwicklung sollte eine enge Abstimmung mit dem Beschichter angestrebt werden.

Die Checkliste, Bild 9, beinhaltet Praxishinweise und Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern bei der Vorbehandlung.

5 Prüfmöglichkeiten an beschichteten Werkzeugen

5.1 Sichtprüfung

Die Sichtprüfung sollte sowohl vom Beschichter als auch vom Werkzeuganwender als 100%-Kontrolle durchgeführt werden. Als Meßmittel eignen sich Leuchtlupe oder Stereomikroskop. Bei der Prüfung ist insbesondere auf folgende Fehlermöglichkeiten im maßgeblichen Funktionsbereich der Werkzeuge zu achten:

Zustand	CVD	PVD
Beschädigungen	×	×
unbeschichtete Stellen		×
ungleichmäßige Schichtfarbe	×	×
unerwünschte Aufschmelzungen		×
Korrosionsflecken		×

Bei Abweichungen oder in Zweifelsfällen sollte durch Rücksprache mit dem Beschichter geklärt werden, welche Korrekturmaßnahmen noch möglich sind.

5.2 Prüfung der Oberflächenrauheit

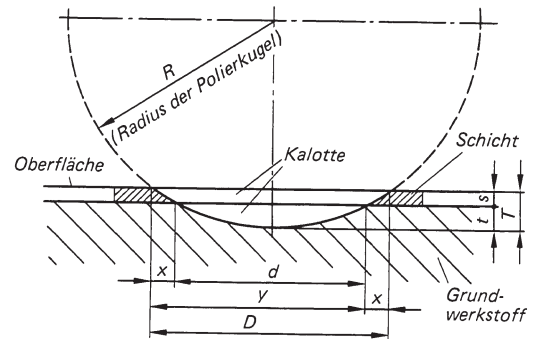
Die Prüfung erfolgt mittels Tastschnittgerät. Bei Überschreitung der Grenzwerte ist eine Nacharbeit (Poliervorgang) zwingend erforderlich.

5.3 Prüfung der Schichtdicke

Vor allem bei PVD-Schichten sind Schichtdickenschwankungen verfahrensbedingt unvermeidbar. Auf den Zeichnungen sollte daher für die gewünschte Schichtdicke außer der maßgeblichen Funktionsfläche auch eine geeignete Meßstelle angegeben werden.

Die Prüfung erfolgt vorzugsweise mittels Kugelkalottenschliff, Bild 10. Es sollten mindestens zwei Messungen je geprüftem Werkzeug durchgeführt werden. Die ermittelten Schichtdickenschwankungen dürfen maximal $\pm 20\%$ betragen.

Meßprinzip:



Auswertung:

Kalottenschliff auf einer zylindrischen Oberfläche

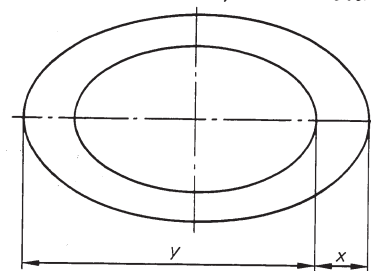
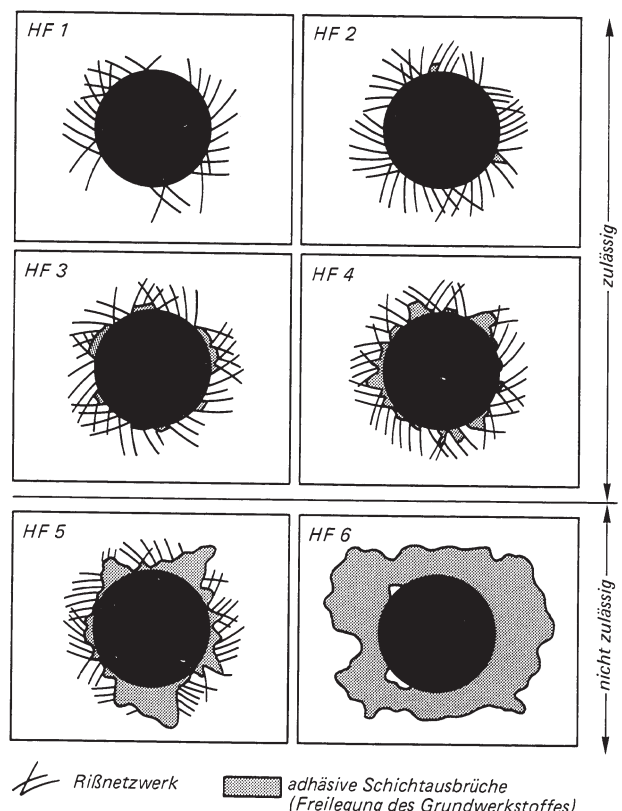


Bild 10. Schichtdickenmessung mittels Kugelkalottenschliff
Vereinfachte Berechnungsmethode
(Rechenfehler $\leq 1\%$):

$$s = 50 \cdot x \cdot y$$

s in μm ; x, y in mm; R = 10 mm



Rißnetzwerk adhäsive Schichtausbrüche
(Freilegung des Grundwerkstoffes)

Bild 11. Bildreihe zur Bestimmung der Haftfestigkeit von PVD-Schichten auf Werkzeug- oder Schnellarbeitsstahl (schematische Darstellung)

Grundhärte: mind. 54 HRC

Schichtdicke: max. 5 μm

Auswertung: HRC-Eindruck, Vergrößerung 100fach

5.4 Prüfung der Schichthaftung

Die z.Zt. einzige praktikierbare Überprüfung der Schichthaftung ist, soweit durchführbar, nach folgendem Verfahren möglich:

Nach einer konventionellen Härteprüfung nach Rockwell C, DIN 50103 Teil 1, erfolgt eine lichtmikroskopische Auswertung des Rißnetzwerkes bzw. der Schichtausbrüche im Randbereich des Härteeindrucks unter 100facher Vergrößerung. Für die Beurteilung des Prüfergebnisses nach Bild 11 gilt:

- HF1 bis HF4: zulässig
- HF5 und HF6: nicht zulässig, deutliche Leistungseinbußen zu erwarten

Es sollten mindestens zwei Messungen je geprüften Werkzeug durchgeführt werden.

Die angeführte Richtreihe gilt für PVD-Schichten auf Werkzeug- oder Schnellarbeitsstahl mit einer Grundhärte von mindestens 54 HRC und einer Schichtdicke von maximal 5 µm. Für die Beurteilung der Haftung von CVD-Schichten ist dieses Verfahren nicht anwendbar.

Schrifttum

- Wettheide, H.*: Verschleiß beschichteter Umformwerkzeuge bei der Kaltmassivumformung. In: Tagungsband „Neuere Entwicklungen in der Massivumformung“, Forschungsgesellschaft Umformtechnik, Stuttgart, 4. u. 5. Juni 1985
- Kübert, M., u. R. Woska*: Verschleißschuttschichten für Werkzeuge zum Kaltumformen. Werkstatt und Betrieb 116 (1983)
- Schintlmeister, W., W. Wallgram, J. Janz u. K. Gigl*: Hartstoffbeschichtete Werkzeuge — Verschleißverhalten, Anwendung, Herstellung. Z. für Metallkunde 75 (1984) S. 874/900
- König, W., R. Kauven u. A. Drose*: Improved HSS tools performance with mechanically resistant coatings. Annals of the CIRP Vol. 35/1 (1986) pp. 31/35
- Schulz, H., u. J. Vogel*: PVD-Beschichtungen für die Umformtechnik. Tagungsband Jahrestagung der Kaltmassivumformer. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, Febr. 1989, S. 45/59
- Frey, H., u. G. Kienel*: Dünnschichttechnologie. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986
- Haefel, R.*: Oberflächen- und Dünnschichttechnologie, Teil 1 u. 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1987
- Keller, K.*: Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz hartstoffbeschichteter Werkzeuge in der Kaltmassivumformung. wt 77 (1987) S. 629/634
- VDI-Bericht 866: Beschichtung hochbeanspruchter Bauteile. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990
- VDI-Bericht 702: Prüfen und Bewerten von Oberflächenschutzschichten. Düsseldorf: VDI-Verlag 1988