

Leistungsverbesserung von Umformwerkzeugen durch Beschichtung mit ternären Keramiksichten

Zielstellung

Eine wirksame Begrenzung des Verschleißes sowie die Verbesserung der Standzeit von Umformwerkzeugen kann durch deren Oberflächenbeschichtung oder Randschichtbehandlung erreicht werden, wenn diese optimal auf das Tribosystem und somit die in der Wirkfuge vorliegenden Beanspruchungsverhältnisse abgestimmt sind. Die Zielstellung dieses Forschungsprojektes bestand darin, die schon bei Zerspanwerkzeugen im Vergleich zu binären Keramiksichten (wie TiN bzw. CrN) als vorteilhaft erwiesenen, ternären Hartstoffschichtsysteme auch in Bezug auf ihre Eignung für den Verschleißschutz von Umformwerkzeugen zu untersuchen. Auf solchen wurden mittels DC-Arc- und Sputtertechnik im PVD-Verfahren die Schichtsysteme (Ti,Al)N, (Ti,Cr)N und (Ti,Zr)N abgeschieden. Zwecks weiterer Qualitätsverbesserung der Umformwerkzeuge wurde auf die ternären Hartstoffsichten teilweise zusätzlich eine Feststoffschmierschicht aus metall-dotiertem MoS₂ aufgesputtert.

Arbeitsprogramm

- Abscheidung der ternären Hartstoffsichten in einer von der Fa. INOVAP GmbH Dresden umgebauten Beschichtungsanlage "TINA-arc-sp", die Beschichtungen sowohl mittels katodischem Lichtbogen (Arc-Technik) als auch Magnetron (Sputter-Technik) ermöglicht.
- Beurteilung des Beschichtungserfolges durch Schichtdiagnostik:

Schichtdicke	- Kalotte, Röntgenfluoreszenz,
Schichthärte	- Universalhärte, HK 0.05
Hafffestigkeit	- ROCKWELL-Test, Ritztest
Rauhigkeit	- Tastschnitt,
Schichtzusammensetzung	- GDOES-Konzentrations-Tiefen-Profil,
Fotografische Dokumentation	- Auflichtmikroskopie an Bruch- und Deckflächen
- Überprüfung der Reproduzierbarkeit der ermittelten technologischen Parameter zur Abscheidung der ternären Hartstoffsichten sowie des MoS₂-Feststoffschmierfilmes.
- Beschichtung von Umformwerkzeugen mit ternären Hartstoffsichten sowie Erprobung unter industriellen Bedingungen.

- Betrachtungen zur Ökonomie der Beschichtung von Umformwerkzeugen mit ternären Hartstoffen auf Basis der ermittelten Testergebnisse.

Ergebnisse

Zunächst wurden durch Variation des Abstandes zwischen Substrat und Targets sowie mit stationärem bzw. rotierendem Drehkorb unter ansonsten konstanten Reaktionsbedingungen funktionelle Abhängigkeiten der Schichtabscheiderate vom Targetabstand ermittelt. Beim Sputterprozess mit rotierendem und stationärem Drehkorb waren im Unterschied zum Arc-Verfahren negative Veränderungen der Schichteigenschaften (Schichthärte, Haftung, Schichtzusammensetzung) feststellbar.

Tabelle 1 fasst die beim reinen Arc-Prozess bzw. bei der Verfahrenskombination Arc+Sputtern ermittelten Messwerte der ternären Schichten (Ti,Al)N, (Ti,Cr)N und (Ti,Zr)N zusammen.

Verfahren	Arc				Arc + Sputtern			
	(Ti,Al)N Substit.	(Ti,Al)N Mehrlag.	(Ti,Cr)N Substit.	(Ti,Zr)N Substit.	(Ti,Al)N Substit.	(Ti,Al)N Mehrlag.	(Ti,Cr)N Substit.	(Ti,Zr)N Substit.
Sputterzeit [min]					60	300	60	60
Schichtdicke [µm]	2,85± 0,17 2,97± 0,10	5,17± 0,32 5,24± 0,27	3,24± 0,30 3,05± 0,19	4,52± 0,16 5,24± 0,35	3,27± 0,09 3,50± 0,25	7,01± 0,52 6,72± 0,41	3,36± 0,18 3,44± 0,11	4,60± 0,12 5,20± 0,33
Schichthärte [HK 0,05]	1801± 155 1675± 124	2858± 311 3426± 377	2370± 133 2215± 89	3215± 217 3398± 338	2068± 91 1964± 142	1710± 95 1672± 127	1708± 123 1616± 118	2151± 99 2064± 70
HF-Klasse	2 2	1-2 1	2-3 2	2 2	1-2 2	3-4 3	2-3 3	6 6
Kritische Last Lc2[N]	40,5	21,0	17,0	10,0	31,5	22,0	15,0	12,0

Tabelle 1: Eigenschaften der keramischen Schichten
Legende: Substit. - Substitutionshartstoffschicht / Mehrlag. - Mehrlagenschicht

Im Fall der Verfahrenskombination Arc+Sputtern trat bei den Schichtsystemen (Ti,Cr)N, (Ti,Zr)N und (Ti,Al)N-mehrlagig ein gravierender, aus Veränderungen der Schichtzusammensetzung resultierender Abfall der Knoop-Mikrohärte auf. Außerdem wiesen die im Vergleich zu den reinen Arc-Schichten höheren HF-Klassen auf eine, insbesondere bei (Ti,Zr)N sehr drastisch ausfallende, Verringerung der Schichtadhäsion hin.

Die Mittelwerte der für die Schichtadhäsion charakteristischen, kritischen Last LC2 nahmen sowohl beim Arc- als auch beim Arc+Sputter-Prozess in der Reihenfolge (Ti,Al)N-Substit. > (Ti,Al)N-Mehrlag. > (Ti,Cr)N > (Ti,Zr)N ab.

Als repräsentatives Beispiel für die o.g. Verfahrenskombination zeigt Bild 1 den Aufbau eines mehrlagigen (Ti,Al)N-Schichtsystems, bei dem die Abscheidung zunächst mittels Arc- und abschließend mittels Sputter-Prozess erfolgte:

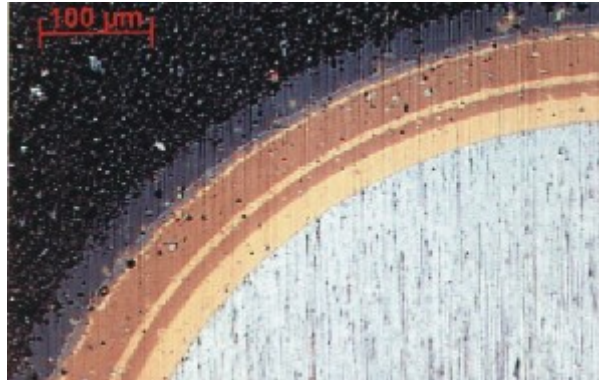


Bild 1: Kalottenausschnitt einer mehrlagigen Arc/Sputter-Schicht aus (Ti,Al)N

Analoge Untersuchungen wurden für das Sputtern von metalldotierten MoS₂-Schichten auf mittels Arc-PVD erzeugten, ternären Hartstoffschichten durchgeführt. Die periodisch wiederholte, kurzzeitige Co-Verdampfung von Ti oder Cr erfolgte vor allem zwecks Verfestigung der Schichtstruktur. Die Gesamtschichtdicke, worunter die Summe der Schichtanteile aus ternärer Hartstoffschicht, haftvermittelnder, metallischer Zwischenschicht und metallhaltigem MoS₂-Feststoffschmierfilm zu verstehen ist, nahm mit zunehmendem Abstand von der Sputterquelle linear ab.

Tabelle 2 fasst für die Schichtsysteme MoS₂:Ti und MoS₂:Cr ermittelte Messwerte zusammen:

Schichtsystem	Hartstoffschicht + ...	
	MoS ₂ :Ti	MoS ₂ :Cr
Abscheiderate [nm/min]	10,6	15,5
HF-Klasse	2-3	3-4
Kritische Last LC1 [N]	3	2
Kritische Last LC2 [N]	41	30

Tabelle 2: Eigenschaften metallhaltiger MoS₂-Schichten

Während Cr-haltige MoS₂-Schichten ein deutlich schnelleres Schichtwachstum aufwiesen, hafteten hingegen Ti-dotierte MoS₂-Schichten, wie sowohl die Ergebnisse des Ritztests als auch die Haftfestigkeitsklassen verdeutlichen, besser auf der darunter liegenden Hartstoffschicht.

Sowohl bei den ternären Hartstoffschichten als auch bei den Hartstoff/MoS₂:Me-Schichtsystemen wurden für die Verfahrenskombination Arc+Sputtern mittels GDOES-Tiefenprofilanalysen die Konzentrationsverläufe der schichtbildenden Elemente abgebildet. Deutlich zu erkennen sind im Bild 2 die stark differierende Zusammensetzung der beiden (Ti,Al)N-Phasen in der aufgesputterten Deckschicht relativ zur darunter liegenden Arc-Schicht (Grenzfläche bei ca. 2,0 µm) sowie im Bild 3 der zur Oberfläche stark ansteigende O-Gehalt in dem auf eine TiN-Schicht abgeschiedenen MoS₂:Ti-Schmierstofffilm.

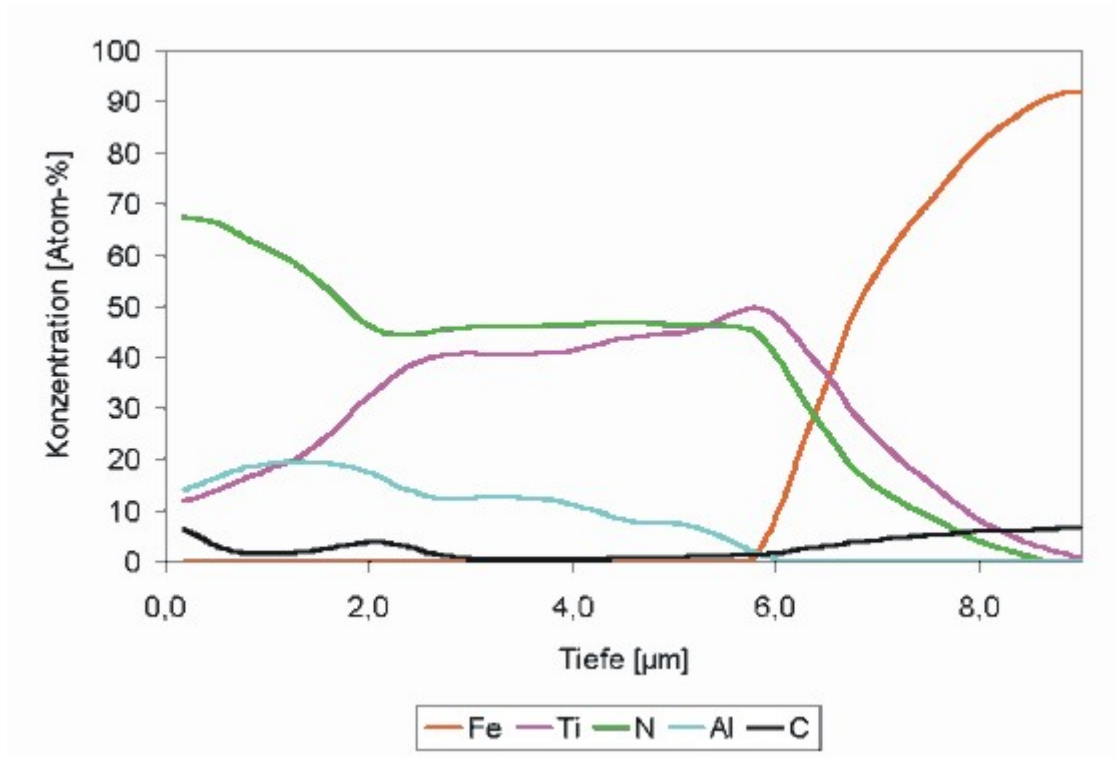


Bild 2: GDOES-Profil eines mittels Arc+Sputtern erzeugten (Ti,Al)N-Schichtsystems

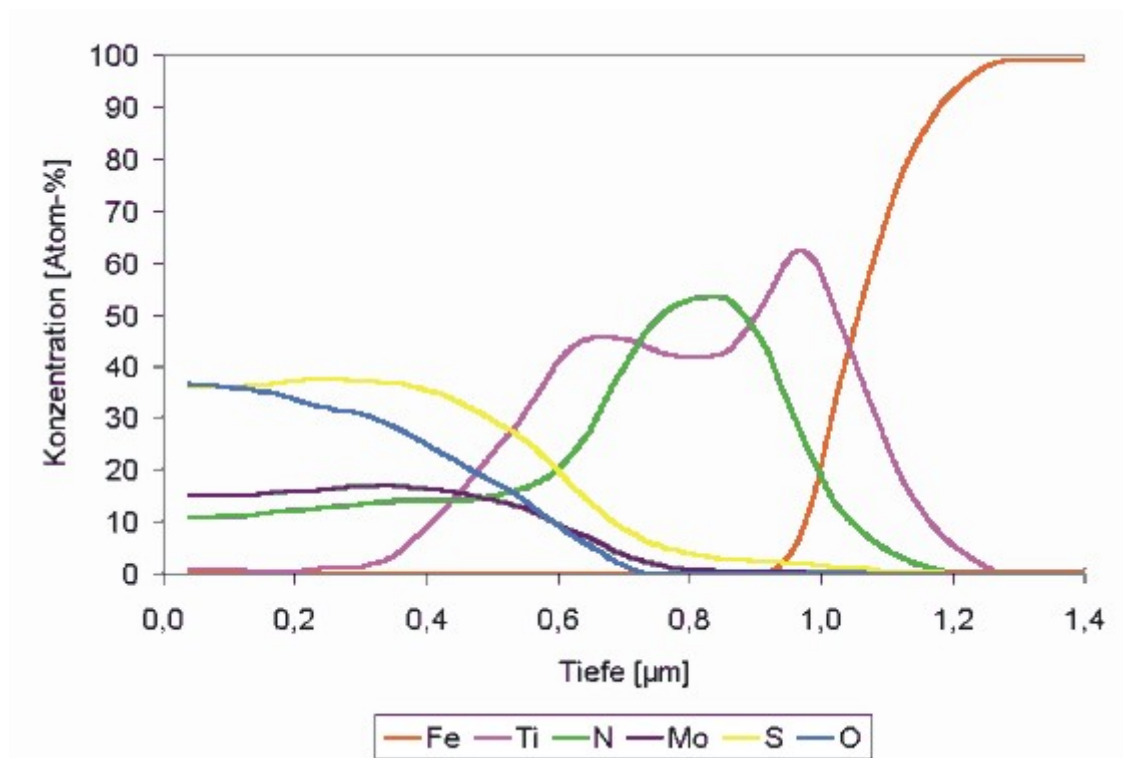


Bild 3: GDOES-Profil einer mittels Arc+Sputtern erzeugten Kombischicht TiN-MoS₂:Ti

Aus den Resultaten der betrieblichen Erprobungen folgt, dass ternäre Hartstoffschichten im Bereich der Blechumformung (Biege- und Schneidvorgänge) geeignet sind, Standzeiten von Werkzeugen zu erhöhen und eine gleichbleibend gute Produktqualität zu gewährleisten. Durch die Beschichtung mit ternären Hartstoffschichten kann eine im Mittel 3-fache Standzeiterhöhung erreicht werden.

Als Resultat von Effektivitätsbetrachtungen am Beispiel eines der durchgeführten Industrietests wurde gefunden, dass sich der finanzielle Gesamtaufwand beim Einsatz hartstoffbeschichteter Biegeelemente im Vergleich zur Verwendung unbeschichteter Umformteile schon infolge der erzielten Lebensdauererhöhung und Werkzeugkostenreduzierung auf 39 % reduzierte. Dabei blieben sogar die verkürzten Rüstzeiten, die verbesserte Produktqualität, der verminderte Einsatz von Schmierstoffen sowie die mögliche, (maschinenabhängig) höhere Arbeitsgeschwindigkeit noch unberücksichtigt, so dass sich auch in dieser Hinsicht noch Einsparungspotentiale ergeben.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen eines FuE-Projektes mit dem Förderkennzeichen 103/00 durch das BMWA gefördert, wofür wir hiermit danken.

—
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. G. Ullrich