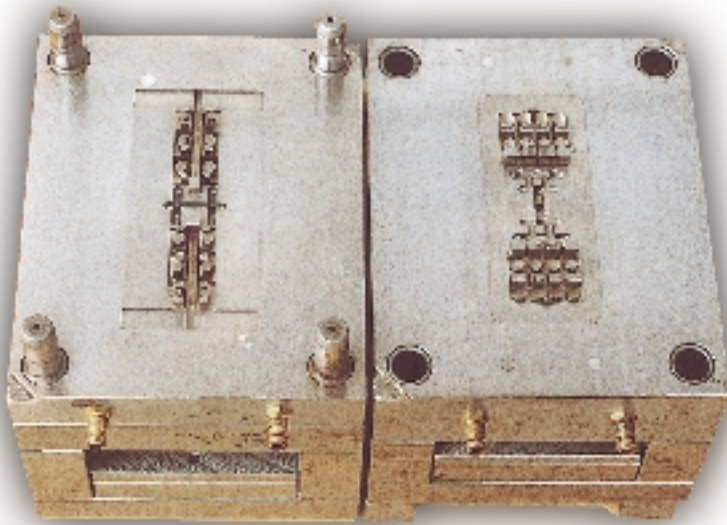


Hartstoffschichtsystem für Spritzgießwerkzeuge

Zugeschnitten auf das Spritzgußteil



Müssen abrasive Kunststoffe eingesetzt werden, sinkt die Standzeit einer Spritzgießform ohne Beschichtung deutlich. Auch TiN oder TiCN-Beschichtungen helfen nur begrenzt. Vielversprechender sind Hartstoffschichten nach dem 3D-Audip-CVD-Verfahren, die enorme Standzeitverlängerungen versprechen.

Spritzgießform für Elektronik-Bauteile der Fa. H. Kugele Werkzeugbau und Kunststoffverarbeitung in Schömburg, beschichtet mit dem Schichtsystem SS7000.45K (Bilder: Technisches F&E-Zentrum, Schömburg)

Hochleistungskunststoffe zeichnen sich in den meisten Fällen durch besonders gute mechanische Eigenschaften wie Zug-/Druckfestigkeit, Abriebresistenz, Härte, hohe Wärmebeständigkeit und dergleichen aus. Diese Eigenschaften können, durch eine definierte Verschiebung der Füllstoffkonzentration, entsprechend variiert werden. Zu den am häufigsten eingesetzten anorganischen Füllstoffen gehören dabei Glasfaser (SiO_2) mit einer Mikrohärtigkeit zwischen 650² und 1250 HV, Aluminiumoxid (Al_2O_3 – 2300 HV) und das Titandioxid (TiO_2 – 2700 HV). Zugegeben werden sie in Form von Lang- und Kurzfasern, Granulat oder Pulver. Die hohe Härte und geometrische Form der Füllstoffe verursacht jedoch einen hohen Verschleiß beim Verarbeiten der Materialien, insbesondere bei Rückstromsperrern, Heißkanal-Spritzgießdüsen und Spritzgießformen. Ursache dafür ist die

hohe Mikrohärtigkeit der Füllstoffe im Vergleich zum Stahl. So werden die meisten Spritzgießformen aus dem gehärteten Stahl 1.2379 hergestellt, dessen Mikrohärtigkeit maximal 850 HV (etwa 63 HRC) beträgt.

In der Vergangenheit hat man versucht, die Formenstandzeit durch die Änderung der mechanischen als auch der chemischen Eigenschaften des Stahls mittels eines definierten Zulegierens von verschiedenen Elementen zu beeinflussen. Bessere Ergebnisse bei der Abriebfestigkeit erreichte man jedoch erst durch den Einsatz von Hartchrom. Ein ähnliches Resultat erzielte man mittels Gas- und Ionitrieren. Beide Nitrierarten haben das Hartverchromen im Laufe der Zeit zu 95% aus der Formen-Oberflächenveredelung verbannt.

Sauerstofffreie Keramiken wie Titankarbid (TiC) mit einer Mikrohärtigkeit von 3200 HV, Titankarbonitrid (TiCN – bis 2900 HV), Aluminiumoxid (Al_2O_3 – bis 2300 HV) und Titanitrid (TiN – bis 2300 HV) ließen sich erst mit der Entwicklung des Hochtemperatur-CVD-Verfahrens am Stahl abscheiden. Nachteilig waren die hohen Abscheidetemperaturen von 850

bis 1050 °C. Sie zogen eine entsprechende Enthärtung und geometrische Deformationen in den Formen nach sich. Dieser Verzug wurde noch durch das der Beschichtung folgende Nachhärten und Anlassen zusätzlich erhöht. Somit hat das CVD-Verfahren in der Formenveredelung nicht den erhofften Einsatz gefunden. Ausnahme sind Formen mit einer sehr einfachen Geometrie und großen Toleranzen.

Senken ließen sich die hohen Abscheidetemperaturen erst mit der Entwicklung des PVD-Prozesses (**Physical Vapour Deposition**). Damit lassen sich TiN, Al_2O_3 , TiCN (genauer das $\text{TiC}_{0,3}\text{N}_{0,7}$) in einem Temperaturbereich zwischen 20 und 700 °C abscheiden. Eine weitere Verschiebung der Kohlenstoffkonzentration von zum Beispiel 0,3 auf 0,5, was eine weitere Mikrohärtesteigerung in Richtung Titankarbidhärte zur Folge hätte, ist aus physikalischen Gründen praktisch nicht möglich. Alle Hartstoffe, die mittels diesem Verfahren abgeschieden werden, sind kristallin und gehören den Hartstoffen der ersten Generation an. Ihre Mikrohärtigkeit liegt je nach Hartstofftyp zwischen 1400 und 2800 HV.



Dr. Lienhard J. Paterok, Dr. Leonhard F. Paterok, Technisches F&E-Zentrum für Oberflächenveredelung und Hochleistungswerkzeugbau, Schömburg-Langenbrand

Ein Problem ist die Haftfestigkeit dieser Hartstoffe und ihre Abscheidung in Form von kompakten, unter 2 µm dünnen Mikroschichten. Die Haftfestigkeit entspricht maximal der Hälfte der mittels dem CVD-Verfahren abgeschiedenen Hartstoffschichten. Besonders niedrig ist die Haftfestigkeit aller PVD-Keramiken auf polierten Oberflächen. Um sie zu verbessern, ist eine Rauheits-erhöhung der zu beschichtenden Oberflächen notwendig. Dies wirkt sich aber auf den Reibungskoeffizienten und die Entformung von Kunststoffen in einer Spritzgießform negativ aus. In wenigen Fällen bleibt nur das Aufrauen der entsprechenden Formenoberflächen und die Abscheidung von sehr dicken Mikroschichten übrig. Diese müssen im Nachhinein mittels Diamant-Paste und manuellem Nachpolieren auf die gewünschte Oberflächengüte gebracht werden. Das ist nur bei einfachen und sehr seichten Formenprofilen möglich. Erst mit dem hochenergetischen α -3D-AUDIP-CVD-Verfahren gelang es,

komplizierte und tiefe Spritzgießformen, Umform- und Prägematrizen ohne jegliche Hilfskathoden, Elektroden und andere Hilfsmittel sowohl mit kristallinen der ersten als auch strukturlosen multielementigen Hartstoffen der zweiten Generation von innen zu beschichten.

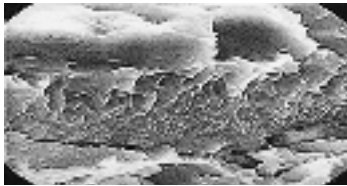
Strukturlose Legierungen

Bei letzteren handelt es sich um strukturlose metallische oder keramische Legierungen, abgeschieden im Temperaturbereich zwischen 80°C und 1200°C. Das 3D-AUDIP-CVD-Verfahren erlaubt, Hartstoffe in Form von streng definierten Mikroschichtsystemen herzustellen, in denen je nach Einsatzfall der Mikrohärtgradient, die Schichtduktilität, die Wärmeleitfähigkeit, der Abnutzungswiderstand, die Oberflächenrauheit, die Neigung zur Kaltverschweißung oder die Entformbarkeit als Schichtsystem-Konstruktionskriterium zu Grunde

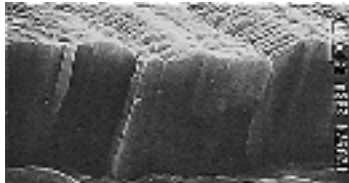
gelegt werden. Die Dicke der Schichtsysteme ist vom Anwendungsfall abhängig und kann zwischen 1 und 3 µm betragen.

Durch eine definierte Konzentrationsverschiebung der Elemente in der Endformel der multielementigen Hartstoffschichten, können praktisch alle Eigenschaften gezielt beeinflusst werden; beispielsweise können Hartstoffe mit einer Mikrohärtigkeit zwischen 1300 HV und 3200 HV problemlos hergestellt werden. Eine optimale Prozessführung hat dichte, sehr gut haftende, mit definierten Rauheiten versehene Schichten zur Folge. Sie weisen zudem eine geringe Neigung zur Benetzung mit Kunststoffen auf und bieten hohe Entformbarkeit. In den letzten zehn Jahren wurden für die Standzeitsteigerung von Formen neue Schichtsysteme bis zu einem Standzeitfaktor 20 entwickelt. Parallel wurde ein neues niedrigenergetisches β -3D-AUDIP-CVD-Verfahren entwickelt. Hier ist es gelungen, den Einfluss auf die Änderung der so-

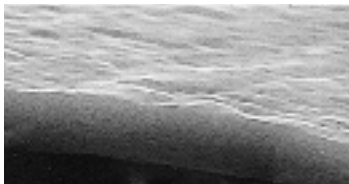
Aufbau unterschiedlicher Schichten



TiCN, Hochtemperatur-CVD, Abscheidetemperatur 1020 °C



TiCN, PVD-Verfahren, Reaktives Bedampfen bei 510 °C



Schichtsystem SS7000.45K, 3D-Audip-CVD-Verfahren, Abscheidetemperatur 510 °C

wohl physikalischen als auch der chemischen Eigenschaften und ihre dynamische Optimierung während des Beschichtungsprozesses massiv zu erhöhen, und für die Kunststoffe verarbeitende Industrie die neue Hartstoffserie SS7000K zu entwickeln.

Beispiel aus der Praxis

Für die Herstellung von Elektronikbauteilen aus dem Kunststoff A-PU 115 mit 65% Glasfaser (interne Materialbezeichnung) wurde eine Achtfachform gebaut und mit dem Schichtsystem SS7000.12K beschichtet. Die Fertigungskosten für eine derartige Achtfachform liegen bei etwa 320000 DM pro Gesamtsystem. Mit dieser Form ließen sich in der Vergangenheit im unbeschichteten Zustand maximal 68000 Teile spritzen. Im zweiten Schritt versuchte man die Standzahl durch die Veredelung der Form mittels PVD-Verfahren zu steigern. Aus Kostengründen hat man sich für TiN entschieden.

Nachteilig war, dass bei der Beschichtung eine bis zu 12 µm dicke Kantenverrundung auftrat, zudem nahm die Schichtdicke in Richtung Forminneres ab, auch

erhöhte sich die Oberflächenrauheit. Die hohen Nacharbeitskosten hat man hier in der Vergangenheit in Kauf genommen, um eine Standzahlerhöhung um Faktor 2 (150000 Teile) zu erreichen. Durch den Einsatz von TiCN konnte die Standzahl um das 3,1fache erhöht werden; das entsprach einer Standzahl von 210000 Teilen. Danach mussten alle verschlissenen Konturen durch Nachsetzen neu hergestellt werden.

Da es sich hier um ein Massenprodukt handelt, war dem Hersteller aus Kostengründen die Anzahl der gefertigten Teile von 210000 Stück zu gering. Man beschloss, im nächsten Schritt alle Spritzgießformeneinsätze mittels dem 3D-AUDIP-CVD-Verfahren zu veredeln. Dazu wurden basierend auf der maximalen Mikrohärtigkeit der Glasfaser von 1200 HV zwei Schichtsysteme entwickelt. Heraus kamen folgende Standzeiten: mittels dem Schichtsystem SS5000.12K konnte eine Standzahl von 1720000 ± 10000 Teilen und mittels dem System SS7000.45K eine Standzahl von 2380000 ± 13000 Teilen erreicht werden (siehe Diagramm).

Alle Formen werden durchschnittlich noch siebenmal nachgesetzt und mittels dem 3D-AUDIP-CVD-Verfahren nachbeschichtet. Somit lassen sich mit einer mit SS7000.45K beschichteten Form insgesamt weit über 16 Mio. Teile fertigen, während es bei einer TiCN-PVD beschichteten etwa 1,5 Mio. Teile sind, bei einer TiN-PVD beschichteten etwas mehr als eine Million und bei einer unbeschichteten nicht einmal eine halbe Million. Somit beträgt der Standzahlbeiwert für SS7000.45K/unbe-

schichtet 35. Das entspricht 35 eingesparten Formen. Legt man hier großzügig den Preis auf 320000 DM für das siebenmalige Beschichten und für die Ausbesserung von der verschlissenen und veredelten Form fest, was einem Herstellungspreis für eine neue Form entspricht, so bleibt noch eine Einsparung von 34 Formen übrig.

Beschichtungsgerecht fertigen

Entsprechend diesen Ergebnissen werden seit einiger Zeit immer mehr neue, mittels PVD-Technologie beschichtete Spritzgießformen entschichtet und mit den entsprechenden Schichtsystemen veredelt. Oft stellt man danach fest, dass einige dieser Spritzgießformen für das Beschichten ungeeignet waren. Die Oberflächen waren tief geschädigt. Die Ursache für diesen Zustand ist im Erodieren und im zu schnellen Schleifen (ohne entsprechende effektive Kühlung) zu suchen.

Erodier- und Schleifdefekte werden selten auf dem mechanischen Wege korrekt beseitigt. In vielen Fällen ist das nur als eine kosmetische Oberflächenoperation anzusehen. Die Schädigung einer Oberfläche oder einer Schließkante erstreckt sich sehr oft bis zu einer Tiefe von 20 µm und mehr. Diese Randzonen sind nicht selten sehr stark entkohlt (und damit enthärtet), durchoxidiert, weisen einen anderen Ausdehnungskoeffizienten wie der gesunde Untergrund auf und zeichnen sich durch eine geringe Haftung mit dem reinmetallischen Untergrund aus.

Wird eine solche Spritzgießform eingesetzt, können bereits nach einigen Einsatzstunden die Schichten reißen und platzen mit dem geschädigten Randzonenbereich ab. Aufgrund dieser Erkenntnisse werden immer mehr Spritzgießwerkzeuge unter optimierten Herstellungsbedingungen beschichtungsgerecht gefertigt.

