

Paradigmenwechsel:

Universell einsetzbare Verbundsysteme durch PVD- und PECVD-Excellence Schichten

Dr. Georg Erkens von der Surcoatec GmbH, Düren, erläutert die im Rahmen von Coating Excellence (CoEx) zur Produktverbesserung notwendige ganzheitliche Betrachtung des Verbundes aus Grundwerkstoff, Oberflächenstrukturierung und Hochleistungsbeschichtung. Im Endergebnis wird nur durch die konsequente Einbeziehung der Oberflächentechnik bereits im Stadium der Konstruktion und der Auswahl der Bearbeitungsprozesse die volle Leistungsfähigkeit der innovativen Schichtsysteme zur Geltung gebracht. Neben andere Aspekten resultiert hieraus eine kosteneffizientere Fertigung und ein wirtschaftlicherer Einsatz der optimierten Verbundkomponente im Vergleich zu bisher eingesetzten klassisch konstruierten Komponenten, bei denen eine Beschichtung mehr als Oberflächenanierung fungierte. Über den Tellerrand hinaus blickend werden in diesem Zusammenhang neue Fertigungsverfahren wie die additive Fertigung mit all ihren Facetten und Möglichkeiten neue Chancen für die innovative Industrielle Plasma-Oberflächentechnik bieten.

Plasmabeschichtungen werden in den verschiedensten Bereichen der Industrie aus unterschiedlichen Gründen eingesetzt. In der Pharma- und Chemieindustrie, in der Verfahrenstechnik und dem allgemeinen Anlagenbau, in der Energietechnik, in der Medizintechnik, im Lebensmittelbereich bei der Herstellung, der Verarbeitung oder Verpackung, im Automobilbau und im Rennsport sowie in weiten Bereichen der Herstellung und Verwendung von Präzisionswerkzeugen.

Die Umgebungsbedingungen sowie die Art der Wechselwirkung bei unterschiedlichen Temperaturen bedingen in der Kontaktzone Reibung, Reibverschleiß, abrasiven, tribochemischen und chemischen Verschleiß sowie Anhaftungen, Erosion und Korrosion. Präzisionswerkzeuge und -funktionsbauteile werden aufgrund steigender Anforderungen hinsichtlich Produktivitätssteigerung, Produktionssicherheit, Prozesseffizienz und unter Berücksichtigung von Ressourcenschonung und Umwelteinflüssen stetig an der Prozessleistungsgrenze und darüber hinaus eingesetzt.

In allen Bereichen bieten Plasmabeschichtungen die Möglichkeit der Effizienzsteigerung durch Energieeinsparung, sind Grundlage für Langlebigkeit, Betriebssicherheit, Leistung und Leistungssteigerung. Und all dies durch die gezielte Einstellung der Grenzflächeneigenschaften natürlicher Oberflächen, also der Eigenschaften von Oberflächen, die mit der jeweiligen Umgebung in Kontakt stehen.

Der Schlüssel zur idealen Ausschöpfung der genannten Vorteile ist ein optimal angepasstes, applikationsspezifisches Verbundsystem aus Grundmaterial, Komponentendesign und Oberflächenbeschichtung. Angetrieben werden Weiterentwicklungen in der Beschichtung zur Reduzierung von Reibung, zur Vermeidung von Korrosion und Verschleiß durch stetig steigende Anforderungen der Anwender. Unterschiedliche Industrien verlangen nach branchenspezifischen Eigenschaften für beschichtete Werkzeug- oder Bauteiloberflächen. Den komplexen Anforderungen werden Systemlösungen am besten gerecht. Der Trend zu Systemlösungen umfasst die Materialauswahl, im Idealfall die beschichtungsgerechte Werkzeug- und Bauteilauslegung, die Güte der bearbeiteten Oberfläche, die Auslegung von Makro- und Mikrogeometrie, die Oberflächenstrukturierung und -vorbehandlung, die Auswahl des Schichtwerkstoffs und des Schichtdesigns sowie die Manipulation der Schicht- und der Oberflächeneigenschaften, auch durch Nachbehandlung, auf die Anforderungen im Einsatz.

CoEx: s-performance 4.x

Anwendungsspezifische Lösungen bedeuten allerdings nicht zwangsläufig immer neue Schichten und Schichtsysteme. Es gibt mittlerweile eine nahezu unüberschaubare Vielfalt an Schichten und Schichtsystemen, Marken und Technologien, Baukästen und modularen Systemen. Am Ende kristallisiert sich in vielen Anwendungsfällen jedoch heraus, dass einige wenige Schichten einen großen Teil der Applikationen abdecken könnten, wenn man das volle Potenzial der Schichten nutzen würde.

Bei derzeit gängigen Lösungen wird die Oberflächenpräparation als Sanierung des variierenden Anlieferungszustands für die nachfolgende Beschichtung betrachtet. Erst bei integraler Betrachtung des Komplexes „Präparation plus Beschichtung“ gelangt man zu der Erkenntnis, dass die Präparation wesentlicher qualitätsbestimmender Faktor dafür ist, dass ein beschichtetes Werkzeug oder Bauteil an der jeweils geforderten Leistungsgrenze eingesetzt werden kann. s-performance 4.x spiegelt genau diesen integralen Ansatz wider.

Die industrielle Plasma Oberflächentechnik (IPO) war und ist ein Leistungsangebot. In Anlehnung an die Phasen der industriellen Entwicklung von 1.0 bis 4.0 lässt sich das IPO Leistungsangebot zur Beschichtung über die letzten 45 Jahre wie folgt charakterisieren:

performance **1.0:**
Material-, Werkstoff- und Schneidstoffentwicklung.

performance **2.0:**
Beschichtung von Schneidstoffen und Funktionsbauteilen bis hin zur Werkstoffsanierung durch Beschichtung.

performance **3.0:**
Kontinuierliche Erweiterung des Spektrums an angebotenen und wählbaren Schichten und Beschichtungstechnologien sowie die beschichtungsgerechte Anpassung von Oberflächen und Geometrien zur Angleichung von variierenden Fertigungs- und Anlieferungsqualitäten.

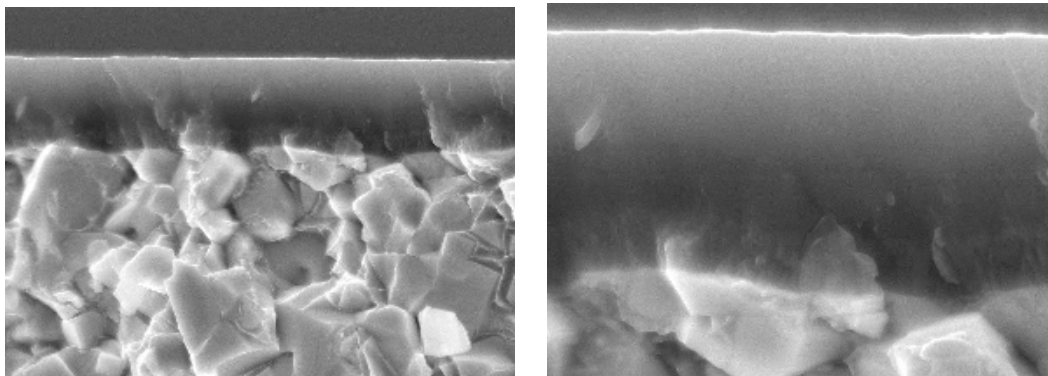
s-performance **4.x:**
Die auf das Bauteil und Werkzeug sowie auf die Applikation optimierte leistungsbestimmende Modifikation von natürlichen Oberflächen und Mikrogeometrien mittels automatisierter Prozesse in Kombination mit modernen Hochleistungsschichten und innovativen Beschichtungsverfahren zur kontinuierlichen Optimierung der Leistung und Standzeiten, zur Schonung von Ressourcen im Zuge immer kürzer werdender Produktlebenszyklen. Es gilt auf Bedürfnisse des Absatzmarktes schneller und exakter in einem dynamischen und flexiblen Umfeld zu reagieren.

In einem sich verdichtenden Wettbewerbsumfeld ist die Differenzierung durch Leistung der Schlüssel des zukünftigen Erfolgs. Alleine die integrale Betrachtung des Veredelungskollektivs „Präparation-Beschichtung-Finishing“ ermöglicht eine signifikante Leistungssteigerung ohne an der Stellschraube Beschichtung und Beschichtungsprozess selbst drehen zu müssen. Dr. Georg Erkens, Experte der Plasma-Oberflächentechnik und Innovationsmanager, betont, dass in Kombination mit universell einsetzbaren Mehrzweckschichten der MpC, DC99® und STech® Serie, häufig auch als Universalschichten bezeichnet, dies ein Paradigmenwechsel einläuten wird. Die ganzheitliche Lösung bietet demnach gerade auch für kleinere Losgrößen Chancen fern ab vom Mittelmaß des Standards, für das Präzisionsbauteil und -werkzeug der Spitzenklasse.

CoEx PVD: MpC (Multi Purpose Coating)

Binäre, ternäre und quaternäre Schichtsysteme wie die PVD Hartstoffe TiN, TiCN, AlTiN, AlTiSiXN, ZrXN sind Klassiker und i.d.R. Teil eines jeden Portfolios. So ist TiN immer noch weit verbreitet im Werkzeug- und Komponentenmarkt und TiCN immer noch eine der besten Schichten in Bereichen der Nassbearbeitung und Umformung. Geht es jedoch in den Bereich der Hochleistungsbearbeitung, sind andere Schichten gefragt. In Bezug auf Universalschichten ist man vielfach immer noch in alten Denkmustern verhaftet: spezifisch oder maßgeschneidert wird mit „Spitzenleistung“ verbunden, universell jedoch mit „Mittelmaß“. Das ist nach Meinung von Dr. Erkens Old-School-Denken. Intelligente Schichtsysteme im Veredelungskollektiv Präparation-Beschichtung-Finishing, das heißt s-performance 4.x + MpC, sind nach seiner Überzeugung Universalsysteme und liefern weit mehr als Mittelmaß – oder die Universalschicht alleine betrachtet.

Die MpC Mehrstofflegierungen sind durch Mikrolegieren ideal auf die Bedürfnisse verschiedener Anwendungen abgestimmt. Durch die Ausscheidung intermediärer und intermetallischer Phasen im Nanobereich werden Härte, Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Temperaturstabilität und Reibungswiderstand positiv für die Applikation eingestellt. Die MpC Allrounder zeichnen sich durch einen nanostrukturierten Schichtaufbau aus, der gezielt Duktilität und Härte dort liefert, wo es gefordert ist. Bei erhöhter Temperatur in der Kontaktzone werden lokal Diffusionsprozesse in den Schichten in Gang gesetzt, was „in situ“ an der Oberfläche zu einer den Bedingungen optimal angepassten Modifikation der Schichteigenschaften führt. Durch gezieltes Mikrolegieren sind die allgemein 2-3 µm dicken Schichten im Bereich der Zerspanung und Umformung bestens für die Nass-, MMS- und Trockenbearbeitung geeignet. Die hochwarmfesten Schichten des MpC Clusters bieten ein breites Anwendungsspektrum von Alu bis zu exotischen schwerzerspanbaren Werkstoffen wie Ni-Basis- oder Ti-Legierungen.



Mirko-Bruchstruktur einer MpC Variante

CoEx PACVD: DC99® und STech® Excellence Schichten

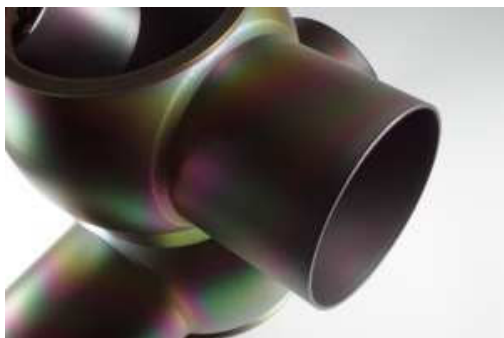
Strenggenommen sind Schichten der MpC, DC99® und STech® Cluster Teil von „Mehrzweck-Verbundsystemen“. Letztendlich sind der Verbund aus Bauteil und Schicht sowie die jeweils optimierten Einsatzdaten kausal verantwortlich für die Leistung. Schichten sind notwendige Bedingung für bestimmte Anwendungen, wie z.B. die Hart-, Trocken-, allgemein Hochleistungszerspanung oder bei mechanisch hochbelasteten Bauteilen, bedingen aber nur hinreichend die Leistung. Diese wird dann bei gleicher Schicht durch Makro-, Mikrogeometrie, Oberflächenstruktur und Einsatzbedingungen maßgeblich bestimmt. So kann in der Energietechnik bei Förderkomponenten und Ventilen eine DLC Schicht der DC99® Serie grundsätzlich Kalkanhaftungen bei gegebener Oberflächengüte reduzieren, doch erst in Kombination mit einer optimierten Oberflächenstrukturierung oder -politur bei einer durchströmten

Komponente gänzlich vermeiden. Bei z.B. nicht durchströmten Körpern führt das optimierte Verbundsystem zu einer wesentlich vereinfachten Reinigung ohne die Notwendigkeit aggressiver Medien und Reiniger. Komponenten, die im Fertigungsprozess oder zum Zweck der Reinigung mit aggressiven Stoffen in Berührung kommen, trotzen derart präpariert den „rauen“ Umgebungsbedingungen.

Die DLC Schichten der DC99®- Serie sowie die Si-dotierten und Siliziumoxid Schichten der STech®- Serie sind derart modifiziert, dass sie die Funktionalität des Präzisionsbauteils verbessern, die Leistungsfähigkeit steigern und die Lebensdauer verlängern. Hohe Härte, easy-to-clean-, Anti-Haft-, Anti-Fouling- und Anti-Kalk-Eigenschaften, chemische Beständigkeit sowie Biokompatibilität und Lebensmittelechtheit (LFBG, FDA) machen sie zur ersten Wahl für den Anlagenbau zur Verarbeitung und Verpackung in der Chemie-, Pharma-, Lebensmittel- und Futterindustrie, in der Verfahrens-, Förder- und Energietechnik. Surcoatecs spezifische Produktionsprozesse ermöglichen auch die Innenbeschichtung von beidseitig offenen, glatten Zylindern mit einer guten Schichthaftung und -homogenität. Dies gilt für Aspektverhältnisse, d.h. Durchmesser zur Länge, von 1:5 bei Durchmessern ≥ 15 mm. Im Einzelfall, bei größeren Durchmessern und je nach Anwendung, sind Aspektverhältnisse bis 1:10 möglich.

Auch hier spielt das Veredelungskollektiv „Grundwerkstoff-Mikrostrukturierung-Beschichtung“ die differenzierende Rolle. Um den Verbundkörper auf höchstem Leistungsniveau einsetzen zu können, muss die Oberflächengüte der zu beschichtenden Komponente spezifischen Kriterien genügen, um den hohen Mehrwert der Excellence Schichten richtig nutzen zu können. Eine hohe Oberflächengüte ist wesentlich für die Funktion des Verbundkörpers. Sie sollte für die zu beschichtenden Präzisionskomponente bei $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, eher besser, liegen, um ein optimales Ergebnis der mit dichten, kompakten, amorphen Schichtstrukturen und dadurch besonders glatten Oberflächen aufwachsenden Schichten zu erzielen.

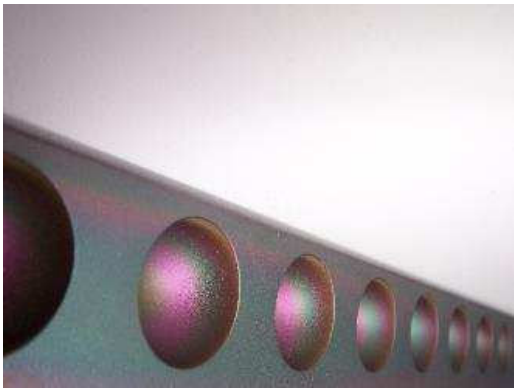
Im Ergebnis reduzieren Surcoatecs Excellence Schichten Reibung und Verschleiß, verlängern Einsatzzyklen und vermindern unproduktive und kostentreibende Nebenzeiten. Dazu kommt noch das Einsparpotential bei toxischen Reinigungsmitteln und deren Entsorgungskosten im Falle des Einsatzes von aggressiven Medien (Säuren, Laugen). Das Produkt des Anwenders wird konkurrenzfähiger, sicherer und qualitativ besser – und das ermöglicht ihm beispielsweise eine verlängerte Gewährleistung als marktdifferenzierendes Merkmal.



Ausfälle wegen starken Kalk- und Schmutzablagerungen an Bauteilen lassen sich mit DC99® und STech® Schichten eliminieren und damit die Lebenszyklen von Komponenten der Verfahrenstechnik drastisch verlängern.

DC99® beschichtete Klappenventile: Verbesserung der Funktion und Erhöhung der Betriebssicherheit durch Anti-Fouling Eigenschaften und Verschleißschutz.

Die Förderung und Verarbeitung von z.B. süßen, klebrigen Teigen und Zuckermassen bei der Herstellung von Süßwaren verursacht einen erheblichen Reinigungsaufwand der mit dem Verarbeitungsgut in Kontakt stehenden Komponenten. Plasmabeschichtungen können hier aufgrund ihrer Verschleiß- und Temperaturbeständigkeit eine Alternative zu gängigen PTFE Beschichtungen sein. In jedem Fall ist auch bei PACVD beschichteten Oberflächen auf ein angepasstes Handling der beschichteten Verbundkomponente zu achten.



Anti-Haft Beschichtung: STech® beschichtete Lebensmittelform

Gezielte Oberflächenstrukturierung in Kombination mit einer Excellence-Beschichtung reduziert Reinigungs- und Wartungsaufwand und damit -kosten von Anlagenkomponenten der Lebensmittelindustrie nachhaltig.

CoEx: Der Paradigmenwechsel

Plasma Spray dienen weniger der Beschichtung, als der Synthese von binären, ternären, quaternären oder höher komplexen Hartstoffpulvern der bekannten Arten wie TiN, TiAlN, CrAlSiN oder TiSiN. Unabhängig vom beschriebenen Gedankenmodell werden es additive Verfahren – und hier im Besonderen die Laserverfahren. Dr. Erkens ist davon überzeugt, dass wir uns gerade am Anfang eines Paradigmenwechsels weg von der reinen Werkstoffsanierung durch Beschichten hin zum anwendungs- und beschichtungsgerechten Bauteil-, Werkstoff-, Oberflächen- und Verbunddesign befinden. Dies bedeutet, dass viele Komponenten zwar konstruktiv bis ins Kleinste optimiert sind, aber leider nicht ausreichend gut in der Anwendung aufgrund von steigenden Anforderungen an die Grenzfläche und dem resultierenden zu hohen Verschleiß, zu hoher Reibung oder auftretender Anhaftungen funktionieren. Meist wird als vermeintliche Lösung nicht über Neukonstruktion, Designanpassung oder neue angepasste Werkstoffe nachgedacht, sondern über Sanieren durch Beschichten, der vermeintlich kostengünstigeren und weniger aufwendigen Lösung. Und am Ende ist es die Beschichtung, die nicht funktioniert und nicht der Verbund oder die Komponente an sich. Häufig sind derartige Bauteile jedoch vom Werkstoff, von der konstruktiven Gestaltung oder von der Oberflächengüte her nicht ausreichend gut für die Anwendung und auch beschichtungstechnisch äußerst herausfordernd bis gar nicht beschichtbar.

In Zukunft wird die Beschichtung wie auch die Oberflächenstrukturierung als konstruktives Element Berücksichtigung bei der optimalen Auslegung von beschichteten Verbundbauteilen finden müssen. Die Beschichtung wird zum festen Teil der Komponente, der konstruktiven Verbundlösung, und nicht mehr als Vehikel zur Sanierung des Werkstoffs und der Werkstoffoberfläche. Im Zuge innovativer Fertigungsverfahren wie der additive Fertigung, dem 3D-Druck durch Laserschmelzen mit Metallpulverdüsen, der Pulverbetttechnik oder dem Metalldruck und anschließendem Mikrowellensintern ergeben sich völlig neue konstruktive Möglichkeiten für beschichtungsgerechte Verbundkomponenten. Von daher wird die Zielvorstellung zukünftig nicht nur sein, immer neue Schichtwerkstoffe und Technologien zu entwickeln, sondern vorhandene Lösungen in neu ausgelegten Verbundsystemen zu berücksichtigen und vorbehaltlos neu technisch zu bewerten. Der Zukunft gehören die im Verbund universell einsetzbaren Mehrzweckschichten. Nach Ansicht von Dr. Erkens kann hier durch Querdenken noch einiges an Potenzial gehoben werden. Querdenken ermöglicht nachhaltige Veränderung, denn Querdenken bedeutet Störung, Störung um ausgetrampelte Pfade zu verlassen. Nur wer bereit ist Befindlichkeiten zu überwinden und die Komfortzone zu verlassen, wird den Innovationspfad des Wandels erfolgreich meistern. Vorsprung entsteht durch Aufgeschlossenheit für Neues, Dynamik und Flexibilität, Innovationsgespür und Partner mit dem Willen zum gemeinsamen Erfolg, so seine feste Überzeugung.

Werden die Möglichkeiten additiver Fertigungsverfahren betrachtet, so ist man auch sehr schnell bei der Zielvorstellung durch Mehrkomponentendruck (eher sintern als schmelzen), die Hartstoffe zur Verschleiß- und Reibungsreduktion direkt als Grenzfläche zu fertigen, also höchste Verschleißbeständigkeit in Kombination mit hoher Zähigkeit im Verbund. Vielleicht ist man der Realisierung dieser Zielvorstellung, die man schon in den 1930er-50er Jahren mit der Entwicklung von Sandwich-Hartmetallen verfolgt hat, mit additiven Verfahren sehr nahe. Und die industriellen Plasmaverfahren wie z.B. PVD, CVD, PACVD (PECVD), Plasmajet-Verfahren wie Low Pressure Plasma Spray dienen weniger der Beschichtung, als der Synthese von binären, ternären, quaternären oder höher komplexen Hartstoffpulvern aus z.B. TiN, TiAlN, CrAlSiN, TiSiN etc..

Unabhängig von dem beschriebenen Gedankenmodell werden es additive Verfahren – und hier im Besonderen die Laserverfahren – ermöglichen, in-situ Oberflächen im Mikro- und Nanobereich zu optimieren und auf die Anwendung hin zu strukturieren, was derartig designte Komponenten im Verbund mit Plasmabeschichtungen auf neue Leistungsniveaus heben kann. Es wird sich zeigen, welche neuen Möglichkeiten der Plasma-Oberflächentechnik durch die neuen innovativen Fertigungsverfahren eröffnet werden.