

Z.O.G.-Seminar: Grundkurs Hartchrom: Prozessbetrachtung und Eigenschaften

Modul 3

Gleich zwei Grundlagenkurse veranstaltete das Z.O.G Ende April in den Räumen des fem (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie). Eingeleitet wurden die beiden Seminartage am 28. April mit Kupfer, Nickel und Chrom (s. Galvanotechnik 05/15, S. 1006 ff). Am 29. April folgte das Thema Hartchrom.

Glücklicherweise ist der Seminarraum beim fem groß genug für 50 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Industrie und Forschung, angereist aus ganz Deutschland und der Schweiz, inklusive der Studenten der Technischen Schulen Schwäbisch Gmünd, die vom Z.O.G. zu diesem Seminar eingeladen wurden. Und damit lag das Z.O.G. mit dem Thema Grundkurs Hartchrom genau richtig. Allen REACh-Verordnungen zum Trotz ist Hartchrom für technische Anwendungen eine der wichtigsten galvanischen Oberflächen und, wie sich im Laufe des Tages erneut zeigte, bisher nicht zu ersetzen. Und somit wurde den Teilnehmern gleich zu Beginn klar: auch dieses Seminar geht über die reinen Grundlagen hinaus.

In seiner Einführung stellte Erich Arnet, Geschäftsführer des Z.O.G., die intensive Zusammenarbeit und das inzwischen bestens ausgelegte Netzwerk mit der Industrie, den Berufs- und Technikerschulen und den Forschungsinstituten heraus. Gerade in der heutigen Zeit, geprägt von gesetzlichen Regelungen, Auflagen und Neuerungen, ist die enge und intensive Zusammenarbeit in der Branche zum Erhalt der Unternehmen und damit der Arbeitsplätze unerlässlich.



Gruppenfoto

Ergänzt wird die Netzwerkarbeit durch Seminare aus dem Bereich der Galvanotechnik: Einzelseminare, wie das heutige oder auch regelmäßige mehrtägige Seminare mit praktischen Übungen, wie der sehr beliebte Grundkurs Galvanotechnik, der viermal im Jahr ausgebucht ist. Und hier ist vor allem die langjährige und gute Zusammenarbeit mit dem fem zu erwähnen, in dessen Räumen das Z.O.G. auch diesmal zu Gast sein durfte. Das fem seinerseits ist für Untersuchungen und Analytik im Bereich der Galvanotechnik bestens ausgestattet, wie Stefan Funk in seiner Begrüßung hervorhob.

Unter einem Grundkurs ohne praktischen Teil könnte man sich eine theoretische und langweilige Veranstaltung vorstellen. Die Referenten aus Industrie und Forschung haben neben den theoretischen und technischen Details Beispiele aus der Praxis vorgestellt, die so manchen Teilnehmer nicht nur unter den Studenten zum Staunen brachte.

Nach der Vorstellungsrunde war klar: alle Teilnehmer haben umfangreiche galvanische Erfahrungen und die meisten arbeiten mit Hartchrom. Das Spektrum reicht bei den Inhaus- und Lohngalvaniken von kleineren Teilen für die Textilindustrie über Kolbenstangen bis hin zu Walzen für die Druckindustrie. Was ist für den Teilnehmerkreis die Motivation ein Grundlagenseminar in Schwäbisch Gmünd zu besuchen? Sicher gehört auch die Auffrischung von bekanntem und im Laufe der Routinearbeit vergessenem Grundlagenwissen dazu. Es ist bekannt, dass das Z.O.G. Referenten aus der Industrie einlädt, die neueste Entwicklungen verbunden mit Erfahrungen aus der Praxis mitbringen und vorstellen. Nicht zuletzt die REACh-Verordnung, nach der Chrom (VI)-Verfahren möglichst schnell aus der Europäischen Oberflächenlandschaft verschwinden sollen, fordert das Interesse an dem Thema heraus.



Volker Rogoll, Studiendirektor der Berufsschule für Oberflächenbeschichter und Leiterplattentechnik der Gewerblichen Schulen Schwäbisch Gmünd

Volker Rogoll, Studiendirektor der Berufsschule für Oberflächenbeschichter und Leiterplattentechnik der Gewerblichen Schulen Schwäbisch Gmünd, begann mit dem Thema „Galvanische Abscheidung technischer Überzüge“ das erste Referat der Vortrags- und Diskussionsrunde und führte in die Grundlagen der Chromabscheidung aus Chromsäure Elektrolyten ein. Seine technisch nutzbaren Eigenschaften bringt Chrom nicht als Element mit. Sie entstehen bei der galvanischen Abscheidung aus wässrigen Lösungen bei einem pH-Wert von 7 und oberhalb eines Potentials von null. In diesem Bereich entwickelt Chrom eine Passivschicht, die es gegen Korrosion schützt. Chromelektrolyte haben einen schlechten Wirkungsgrad. Umfangreiche Untersuchungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit verschiedener Elektrolytparameter zeigen, dass das Fenster in dem Chromschichten in der geforderten Qualität abgeschieden werden klein ist. Üblicherweise arbeitet man bei einer Chromoxidkonzentration von 240 g/l, einer Stromdichte von 15 A/dm² und einer Temperatur von 50 °C. Technische Anforderungen an Hartchromschichten sind hoch. Sie sollen vor Verschleiß und Korrosion schützen, für unterschiedliche Anwendungen hochglänzend oder strukturiert sein. Wie kann das bei einem geringen Einflussfenster erreicht werden? Die verschleißschützende Wirkung beruht auf einer hohen Härte. Diese wird durch einen feinkörnigen Chromüberzug mit Gitterstörungen erreicht. Hartchrom ist vor allem ein Effekt der Schichtdicke, durch den die vorgenannten Anforderungen erfüllt werden und nicht kleiner als 3 µm sind und durchaus 100 µm erreichen können.

Korrosionsschutz wird durch einen mehrschichtigen Aufbau erreicht. Zunächst wird eine 5–8 µm starke, porenfreie „Heißchromschicht“ aufgebracht. Diese wird bei 70 °C und 30 A/dm² abgeschieden. Hierauf baut eine ab 45 µm dicke mikrorissige Chromschicht auf. Die verschleißschützende Wirkung ist bei glatten Oberflächen besser. Porige oder unebene Schichten erhöhen die Aufnahmefähigkeit für Schmiermittel, was sich positiv auf den Verschleißschutz auswirkt. Die Erzeugung strukturierter Chromschichten ermöglichen einstellbare Reibeigenschaften. Somit werden Hartchromschichten gezielt mit Eigenschaften für die geforderten technischen Anwendungen ausgerüstet.

Tiefer in das Thema Hartchrom drang Michael Hekli, STI Group Hartchrom AG, mit vielen Anwendungsbeispielen vor. Die Teilnehmer staunten nicht schlecht, bei der Vorstellung dass eine 60t schwere Walze im Werk senkrecht in die Elektrolytlösung getaucht wird. Die Liste von Eigenschaften von Chromschichten lässt ein weites Anwendungsspektrum vermuten.

Bei technischen Anwendungen wird vorzugsweise Stahl als Grundmaterial eingesetzt. Worauf ist die besonders gute Schichthftung von Chrom auf Stahl zurückzuführen? Die Gitterkonstante ist bei beiden Elementen annähernd gleich, so dass sich die Chromatome perfekt in das Eisengitter einfügen und ein freier Elektronenaustausch zwischen den Metallen stattfindet. Bei optimaler Vorbehandlung teilen sich Grundmaterial und Beschichtung das gemeinsame „Elektronengas“ (vgl. Abb. 1 und 2). Die Schichtsysteme werden anwendungsorientiert optimiert, wodurch ein riesiges Potential an techni-

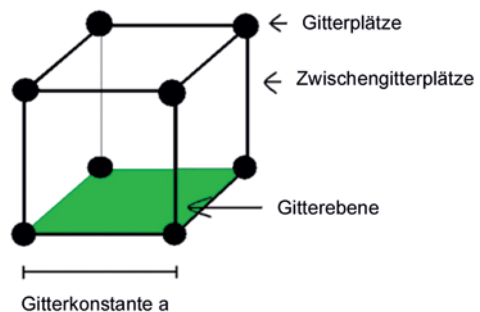


Abb. 1: Schematische Darstellung der Gitterkonstanten Cr/Fe (aus Präsentation Michael Hekli)

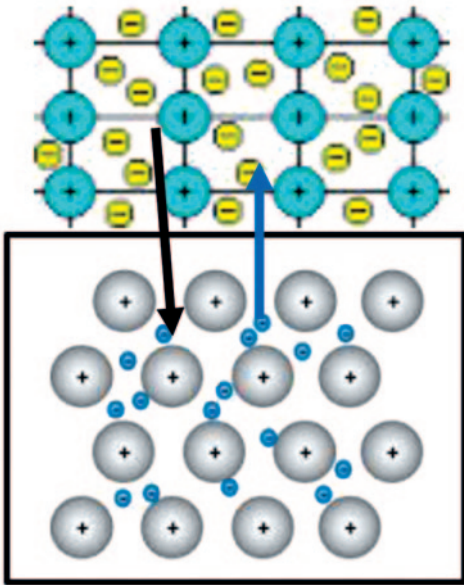
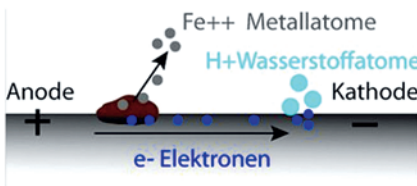


Abb. 2: Metall auf Metall mit freiem Elektronenaustausch (aus Präsentation Michael Hekli)

schen Einsatzmöglichkeiten eröffnet wird. An dieser Stelle werden Beispiele im Hinblick auf die besonderen Eigenschaften wie Korrosionsschutz, Verschleißschutz, Strukturverchromung aufgezeigt.

Ein wirksamer Korrosionsschutz ist nur möglich, wenn die Hintergründe für Korrosion bekannt sind. Beim Galvanisieren von Stahl finden bereits im elektrochemischen Abscheidungsprozess erste Korrosionsphänomene statt. Der kathodische Korrosionsstrom bildet Wasserstoffgas, das sich, aufgrund seiner geringen Abmessungen, in das Kristallgitter einlagert und zur sogenannten Wasserstoff Versprödung führt. Der anodische Korrosionsstrom löst Metallionen aus der Oberfläche. Beide Prozesse stören die Kristallstruktur in der Oberfläche und bieten Angriffspunkte für atmosphärische Korrosion. Ein temporärer Korrosionsschutz wird durch mikrorissige Chromschichten geliefert. Der temporäre Schutz kann durch eine Steigerung der Riss Zahl verbessert werden, nach dem Grundsatz: viele kleine Schäden sind weniger gravierend als wenig massive Schäden. Der Langzeitkorrosionsschutz ergibt sich daraufhin aus einer mehrlagigen Verchromung, s. d. sich die Risse versetzt anordnen und sich die Schichten so gegenseitig schützen. Ein Langzeitkorrosionsschutz wird durch eine optimierte mehrlagige Chromschicht erzielt, wenn keine Risse bis auf das Grundmaterial reichen (vgl. Abb. 3).

Mit einem derartigen Schichtaufbau wird gleichzeitig ein hoher Verschleißschutz erreicht. Die Schichten werden auf 2µm genau präzisionsgeschliffen



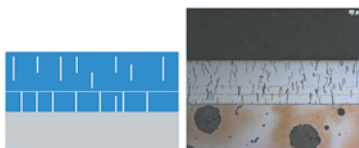
Korrosion:

Kathodischer Korrosionsstrom: Bildung Wasserstoffgas
 anodischer Korrosionsstrom: Metallauflösung



Temporärer Korrosionsschutz : Mikrorissige dünne Verchromung

Verbesserung temporärer Korrosionsschutz über **Steigerung Risszahl** und Aufsplitten anodischer Korrosionsströme:
 → viele kleine Schäden sind weniger gravierend als wenige massive Schäden



Mehrlagige Starkverchromung → Langzeitkorrosionsschutz

Dichte dicke Schicht schirmt Grundwerkstoff von korrosiver Atmosphäre ab.
 Mehrlagige optimierte Verchromung verhindert durchgehende Risse

Abb. 3: Entstehung von Korrosion und Korrosionsschutz (aus Präsentation Michael Hekli)

oder spiegelglanzpoliert je nach Anforderung und Anwendung.

Strukturierte Chromschichten finden ebenfalls Anwendung in der industriellen Fertigung. Die mechanisch, elektrolytisch oder durch spezielle Nachbehandlung erzeugten Strukturchrom-Schichten können z. B. auf Walzen zur Strukturübertragung, Reibungsanpassung, Luftpolsterbildung oder zum Flüssigkeitstransport eingesetzt werden. Eine besondere Form von Strukturchrom ist Diamant-Chrom. Hier werden gezielt Diamant-Partikel in die Schicht eingebaut. Beim Mehrschichtaufbau, der nicht unter 30 µm und bis 800 µm stark sein kann, ist eine Fortsetzung der Risse aus der ersten Schicht in die Endschicht durchaus gewünscht. Aus diesem System, das sich besonders auf Kolbenringen für Turbodiesel in PKW, LKW oder Großdiesel, bewährt hat liefert eine Reihe wichtiger Eigenschaften:

- Extremer Verschleißschutz
- Optimale tribologische Eigenschaften
- Extrem hitzebeständig
- Brandschutzfestigkeit
- Diamant-Partikel eingelagert
- Sehr gute Beölung, auch bei Mangelschmierung
- Schicht „regeneriert“ sich bei fortlaufendem Verschleiß

Neuartig ist eine Chrom-Dispersions-Beschichtung mit optischen Keramik-Markern, die durch IR-Anregung und dadurch auftretende Fluoreszenz sichtbar und messbar werden. Mögliche Anwendungen sind:

- Plagiatsschutz
- Verschleißindikation
- Sicherheitsfunktion

Die Ausführungen von Michael Hekli waren beeindruckend, insbesondere, da seine Beispiele allesamt aktuelle Anwendungen wiedergeben.

Vor allem wirtschaftliche Aspekte sind der Hintergrund für die Vortrag von Hansueli Blaser, Blaser AG Malters, Schweiz. Sein Thema lautete: Fremdmetalle in Chrombädern und deren Entfernung. Hansueli Blaser beschrieb uns in seinem Referat die Funktionsweise und die Vorteile einer Ionenaustauscheranlage, die er seit 34 Jahren zur Wartung von Hartchromelektrolyten betreibt. In *Abbildung 4* wird ein Chromelektrolyt vor und nach der Regenerierung gezeigt.

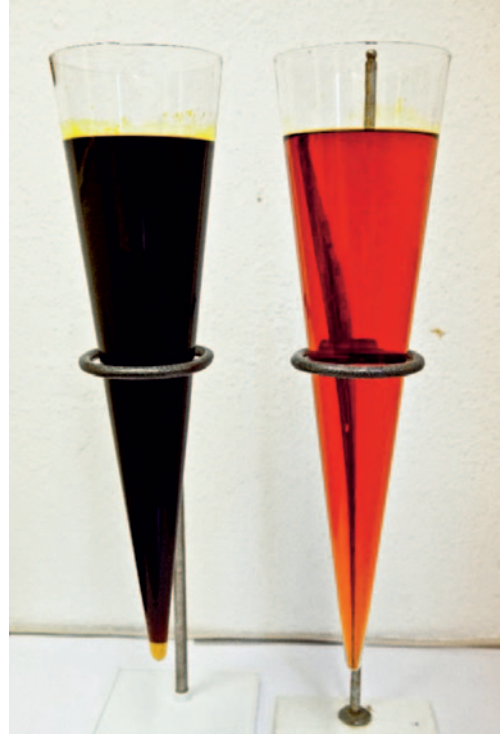


Abb. 4: Chromelektrolyt vor und nach der Regenerierung (aus Präsentation Hansueli Blaser)

Der zu regenerierende Elektrolyt wird in eine extra Wanne überführt. Der Ionenaustauscher ist so ausgelegt, dass er CrO_4^{2-} Ionen durchlässt und alle Fremdmetallionen (Chrom (III), Eisen, weitere Metallverunreinigungen) auffängt. Es hat sich gezeigt, dass Cr (III) vor Fe bevorzugt wird, was nicht erwünscht ist. Chrom (III) sollte daher im Elektrolyt an Bleianoden gleich wieder zu Chrom (VI) aufoxidiert werden. Die Regenerierung der Ionenaustauscher Harze erfolgt mit VE-Wasser. Der metallhaltige Schlamm wird abgetrennt und die Chromsäure in den Elektrolyten zurückgeführt. Die Lebensdauer der Harze ist begrenzt. Mit einer Steuerung versehen, läuft die Anlage annähernd selbstständig. Die Kapazität der Harze wird in der Steuerung per Leitfähigkeitsmessung überwacht. Im Chargenbetrieb und bei regelmäßiger Regenerierung kann die Lebensdauer der Harze deutlich verlängert werden.

Inzwischen ist das Verfahren in Zusammenarbeit mit einem Anlagenhersteller optimiert. Die Einsparun-



Seminar Teilnehmer beim Vortrag von Michael Hekli

gen an Chromsäure, Entsorgungskosten, Kosten für Neuansatz und des Bedienungsaufwands amortisieren die Investitionskosten bereits nach 7 Jahren.

Und obwohl die Vorteile auf der Hand liegen, sind in der Schweiz bisher erst 3 dieser Anlagen in Betrieb. In Deutschland ist kein Betrieb bekannt, der eine Anlage zur Chromsäure Regenerierung betreibt.

Qualitätssicherung in der Oberflächentechnik und damit verbunden Korrosions- und Verschleißschutz hängen direkt mit der Schichtdicke und der Oberflächenhärte zusammen. Zerstörungsfreie Messmethoden, die häufig angewandt eine beste mögliche Kontrolle bieten, stellte Dr. Sebastian Zaum, Helmut Fischer GmbH, Institut für Elektronik und Messtechnik, Sindelfingen-Maichingen, vor. Hierzu zählen die in Tabelle 1 aufgezeigten Verfahren. Um eine möglichst hohe Messsicherheit zu erreichen, müssen die Verfahren mit entsprechenden Standards kalibriert werden.

In *Abbildung 5* ist schematisch der Verlauf der Stromlinien von Magnetinduktion- und Wirbelstrom-Verfahren gezeigt. Da Grundmaterialien und Geometrie (Krümmung, Größe) an der Stelle des Messpunktes eine Rolle spielen, müssen auch diese in die Kalibrierung einbezogen werden und ggf. mit Hilfe einer Führung der Messsonde (z.B. Stativ) die Streuung minimiert werden.

Röntgenfluoreszenz (RFA) Spektren sind elementspezifisch. Sie beruhen auf der Anregung von Atomen durch primäre Röntgenstrahlung. Dabei werden kernnahe Elektronen aus dem Atomverband herausgelöst. Die so angeregten Atome emittieren charakteristische Fluoreszenzstrahlung, indem die Lücken mit Elektronen der höheren Schalen aufgefüllt werden. Die qualitative Aussage wird der Energie der Fluoreszenzlinien entnommen, die für jedes Element charakteristisch ist. Die Intensität der Linien ist proportional der Konzentration, bzw. der Schichtdicke. Mithilfe der Programmieretechnik lassen sich Ein- und Mehrschichtsysteme sowie Legierungsschichten auf Legierungen als Grundmaterial qualitativ und quantitativ bestimmen. Auch hier gilt mit Kalibrierstandards jedes System so genau wie möglich nachzustellen und so eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen. Für die Galvanotechnik besonders interessant ist die Messung von Metallkonzentrationen in Flüssigkeiten mittels RFA. Hierzu stehen spezielle Messzellen zur Verfügung in denen eine sehr geringe Menge der Probenflüssigkeit aufgenommen

Tab. 1: Schichtdickenbestimmung – Zerstörungsfreie Messverfahren

Messverfahren	Anwendung	Materialien	Einsatz
Magnetinduktives Messverfahren	nicht ferromagnetisches Material auf ferromagnetischem Substrat (Stahl, Eisen)	Galvanische Schichten (z. B. Chrom, Kupfer, Zink) nicht metallische Schichten (z. B. Farb-, Lack-, Email- o. Kunststoffschichten)	mobil
Wirbelstromverfahren	Isolierschichten auf elektrisch leitfähigen Nichteisenmetallen	nicht metallische Schichten (z. B. Farb-, Lack-, Email- o. Kunststoffschichten) Anodisierte Schichten auf Aluminium	mobil
Röntgenfluoreszenz	alle mit Röntgenstrahlung anregbaren Elemente (ab Ordnungszahl 20)	Galvanische Schichten auf entsprechenden Grundmaterialien (Metalle, Kunststoff)	stationär

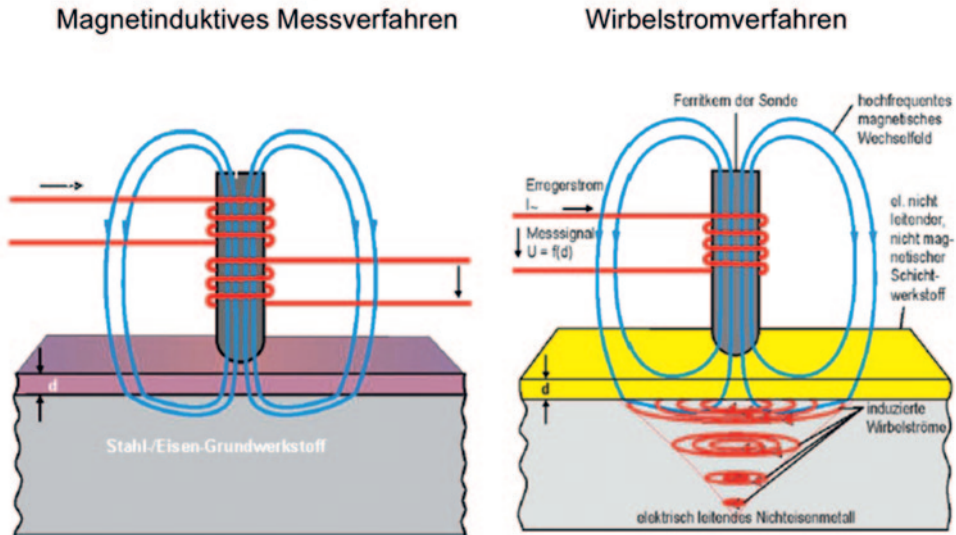


Abb. 5: Schematische Darstellung der Messverfahren und Feldlinien (aus Präsentation Dr. Stefan Zaum)

und mit einer Folie verschlossen wird. In *Tabelle 2* sind die gemessenen Metallkonzentrationen mittels AAS (Atom-Absorptions-Spektroskopie) und RFA gegenüber gestellt. Die Methode ist leicht und sicher durchführbar und führt mit einem geringen instrumentellen Aufwand zu sicheren Ergebnissen.

„Grüne“ Probleme bei der Hartverchromung und weitere Problematiken bei der Verwendung von Bleianoden ist die Motivation für das Referat von Frank Friebe, Umicore Galvanotechnik GmbH, Schwäbisch Gmünd. Unter dem Titel „Einsatz platinierter Titananoden in der Hartverchromung – Nutzen für Qualität,

Arbeitssicherheit und Umweltschutz“ stellte er eine Alternative zur Bleianode vor. Die Zusammensetzung im Hartchromelektrolyten, Chromsäure, Schwefelsäure und Blei, führt zu weiteren gesundheits- und umweltschädlichen Substanzen. Die Schlämme von Bleioxid und Bleichromat setzen sich im Elektrolyten ab und müssen entsorgt werden. Die Verwendung von Bleianoden birgt weitere Probleme:

- geringe Lebensdauer
- Verformung der Anoden = unterschiedliche und abweichende Schichtdickenverteilung
- Regelmäßige Wartung

Tab. 2: Lösungsmessungen – Vergleich der Verfahren AAS und RFA

Badtyp	Metall	AAS [g/l]	RFA [g/l]
Chemisch Nickel	Ni	5,3	4,9
Alkalisch Zink	Zn	17,9	16,5
Sauer Zink	Zn	30	27,1
Vergoldet	Au	1,5	1,8
Gold	Au	5,8	6,5

(auszugsweise aus der Präsentation Dr. Zaum)



Frank Friebe, Umicore Galvanotechnik GmbH, Schwäbisch Gmünd

- Bildung von gefährlichen Schlämmen, die entsorgt werden müssen

Platinierete Titan Anoden werden bereits seit Jahrzehnten eingesetzt und bieten eine Reihe von Vorteilen:

- mehrjährige Lebensdauer
- es entsteht kein Bleichromat
- formstabil
- Kostenreduzierung durch Wiederbeschichtung
- Energieersparnis

Die Anoden, meist wird Streckmetall mit verschiedenen Maschengrößen und Oberflächenverhältnissen verwendet, können in der Form der jeweiligen Geometrie des Bauteils angepasst werden. So kann insbesondere bei der Verchromung von technischen Bauteilen mit spezieller Geometrie die Schichtdickenverteilung erheblich verbessert werden. Platinierete Titan Anoden aus der Hochtemperatur Elektrolyse (HTE) weisen noch bessere Eigenschaften als Anoden aus einer wässrigen Abscheidung auf. Die Eigenschaften aus beiden Verfahren sind in *Tabelle 3* gegenübergestellt.

Den hohen Investitionskosten stehen eine mehrjährige Lebensdauer und die Möglichkeit der Wiederbeschichtung gegenüber. Während die Kosten beim Einsatz von Bleianoden sich linear über die Jahre verteilen, sind die Kosten für Ti/Pt Anoden auf die ersten drei Jahre verteilt recht hoch, danach liegen sie im Mittel deutlich unter den Bleianoden.

Tab. 3: Pt/Ti Anoden – Verfahrensvergleich

Eigenschaft	HTE	wässrig
Reinheit	99,99%	99,4%
Duktilität	5%	< 0,1%
Härte	80 HV _{0,05}	500 HV _{0,05}
Innere Spannung	–	> 50 N/mm ²
Haftfestigkeit	hoch	gering
Plastizität	verformbar	spröde
elektrolytische Leitfähigkeit	hoch	niedrig

(aus der Präsentation Frank Friebel)



Dr. Klaus Leyendecker, Hansueli Blaser, Michael Hekli, Dr. Sebastian Zaum

Bei technischen Bauteilen spielt die Qualitätssicherung eine entscheidende Rolle. Schließlich müssen viele Bauteile die Lebensdauer einer technischen Einrichtung bestehen. Es gilt also die Korrosions- und Abriebbeständigkeit der Hartchromschichten zu optimieren. Möglichkeiten hierzu hat uns bereits Michael Hekli in Form von Mehrschichtsystemen aus Chromelektrolyten vorgestellt. Dr. Klaus Leyendecker, Umico Galvanotechnik GmbH, Schwäbisch Gmünd, zeigte in seinem Vortrag „Kombinationsschichten für die Hartchromabscheidung“ Möglichkeiten auf, Chrom mit andere Elementen oder Legierungen zu kombinieren. Während die Abriebbeständigkeit bei der Chromschicht hervorzuheben ist, wird die Korrosionsanfälligkeit, die durch Rissbildung bei der Abscheidung hervorgerufen wird, durch Erhöhung der Schichtdicke nur bis zu einer Obergrenze ausgeglichen. Durch Aufbringen einer Unterschicht, die die Korrosionsbeständigkeit verbessert und die darauf liegende Chromschicht, die für die Abriebbeständigkeit verantwortlich ist, wird in Summe die Eigenschaft der Beschichtung optimiert. In *Tabelle 4* sind Schichtkombinationen aufgelistet. Die Schichten wurden auf Stahlstangen, aus einem Material, wie es üblicherweise in der Hydraulik Anwendung findet, aufgebracht und alle Schichtsysteme den gleichen Korrosionstests unterworfen. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 5* zusammengefasst. Die Besten Ergebnisse zeigten die Schichtsysteme Gelbbronze + Cr, chem NiP + Cr und elektrolytisch NiP + Cr. Zusätzlich wurden Biegeprüfungen durchgeführt. In allen Schichtsystemen ist die Chromschicht gerissen. Die Schichten aus 60 µm Kupfer und 60 µm Gelbbronze waren duktil genug den Biegetest ohne Risse zu überstehen.

Zusammenfassung

- Schichtkombinationen mit Aufteilung der Funktionen:
 - 1. Schicht: Funktion Korrosionsschutz
 - 2. Schicht (Chrom): Funktion Abriebbeständigkeit
- Die auf die Anforderungen abgestimmte erste Schicht sorgt für einen besseren Korrosionsschutz
- Meist geht es gleichzeitig mit einer Kostenreduzierung einher
- Gelbbronze (85 % Cu, 15 % Sn) und Nickel-Phosphor (> 11 %) zeigen die besten Ergebnisse als Unterschicht unter Hartchrom

Unter dem Druck von REACH wird nach Alternativen für Hartchrom gesucht. „Alternativtechnologien zu Hartchromschichten aus der Sicht des Anwenders“ lautete der Titel mit dem Michael Hekli einige mögliche Verfahren vorstellte und anhand interessanter Beispiele aus der Praxis verglich. Eine Möglichkeit auf Hartchrom zu verzichten ist die Substitution. Zum Beispiel können Grundmaterialien durch höherwertige ersetzt werden. Eine Möglichkeit wäre der Einsatz von Edelstahl anstelle von Gussstahl + Hartchrom. Auch Edelstahl kann nicht alle Eigenschaften des Gussstahl/Hartchrom-Systems wiedergeben, s. d. neben wirtschaftlichen Aspekten Abstriche bei den Eigenschaften im Hinblick auf die Anforderungen überdacht werden müssen.

Tab. 4: Schichtkombinationen für Korrosions- und Abriebtests

Bez. Kombinations-schicht	Schicht 1			Schicht 2
	Material	Legierung	Prozess	Material
Cr 20	Cr 20 µm		4,9	
Cr 35	Cr 35 µm		16,5	
Cr 60 Cr 10	Cu 60 µm	100% Cu	alk. cyanid.	Cr 10 µm
Bronze 60 Cr 10	Gelbbronze 60 µm	85% Cu, 15% Sn	alk. cyanid.	Cr 10 µm
Ni 10 Cr 10	Ni 10 µm	100% Ni	schwach sauer (Sulfamat Basis)	Cr 10 µm
NiP Cr 10	chem. Ni 10 µm	88% Ni, 12% P	schwach sauer (stromlos)	Cr 10 µm
NiPhos Cr 10	elektrol. NiP 10 µm	88% Ni, 12% P	schwach sauer (elektrolytisch)	Cr 10 µm

Tab. 5: Ergebnisse der Korrosionsprüfung

Bez. Kombinations-schicht	NSS-Test	CASS-Test	Corrodokote-Test
	Zeit bis Rotrost [h]	Zeit bis Rotrost [h]	Anzahl Zyklen
Cr 20	16	6	1
Cr 35	24	6	1
Cu 60 Cr 10	> 336	192	3
Bronze 60 Cr 10	> 336	240	10
Ni 10 Cr 10	> 336	72	2
NiP 10 Cr 10	> 336	< 96	> 10
NiPhos Cr 10	> 336	< 168	10

Ein alternatives Beschichtungsverfahren wäre die Plasmadiffusion. Mittels eines Plasmas werden Nichtmetallatome in die Werkstoffoberfläche eingebracht, wodurch die Oberflächeneigenschaften verbessert werden. Die Abscheidung findet beim PPD-Verfahren bei hoher Temperatur statt. Tempe-

raturbeständige Werkstoffe erhalten eine wenige μm starke Schicht, deren Eigenschaften bis zu $100\mu\text{m}$ tief wirken. Härte und Korrosionsschutz sind vom Grundmaterial abhängig. Verschleißt die Schicht, geht auch die Tiefenwirkung verloren. Beim PVD-Verfahren erfolgt die Abscheidung der Schicht im

Tab. 6: Mögliche Alternativen zu Hartchrom

<i>Maßnahme</i>	<i>Verfahren</i>	<i>Eigenschaften Vor-/Nachteile</i>	<i>Beispiele</i>
Substitution	Einsatz höherwertiger Grundmaterialien z. B. Gussstahl + Hartchrom → Edelstahl	nur bei Kleinteilen wirtschaftlich	
Plasmadiffusionsschicht PPD	Mittels Plasma werden Nichtmetallatome in die Oberfläche eingebracht, verfahrensbedingt eingeschränkte Bauteilgeometrie	Härte: 750–1600 HV Schichtdicke: bis $100\mu\text{m}$ (nach Verschleiß der Schicht Eigenschaft nicht mehr vorhanden)	Werkzeuge zum Stanzen oder Umformen
Plasmadiffusionsschicht PPD	Im Hochvakuum werden Nichtmetallschichten aufgebracht, verfahrensbedingt eingeschränkte Bauteilgeometrie	Härte: 2000–2500 HV Schichtdicke: bis $1\text{--}10\mu\text{m}$	Werkzeuge zum Stanzen oder Umformen
Thermisches Spritzen HVOF (High Velocity Oxigen Fuel)	Abscheidungen metallischer oder nichtmetallischer Materialien werden in einer Flamme und mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche beschleunigt und gehen dort eine feste Verbindung ein. In der frei werdenden Wärme schmilzt das Material und verbindet sich fest auf der Oberfläche	Härte: 1400 HV Schichtdicke: bis zu mehreren mm	Walzen Druckwellen Wellen in Pumpen und Kompressoren
Chrom (III)	galvanisches Verfahren	Eigenschaften schlechter als aus Chrom-(VI)-Verfahren	
Chemisch Nickel	galvanisches Verfahren	als Zwischenschicht gut geeignet, als Endschicht nur bedingt brauchbar	

Hochvakuum, wodurch die Temperaturbelastung auf den Werkstücken geringer ist und das Spektrum an beschichtbaren Materialien größer wird. Bedingt durch die Verfahrenstechnik sind bei beiden Verfahren Bauteilgröße und -geometrie begrenzt.

Unter dem Oberbegriff Thermisches Spritzen verbirgt sich ein Verfahren bei dem schmelzbare Materialien (metallische, nicht metallische oder Kombinationen) auf die Oberfläche aufgebracht werden. Die Verfahren unterscheiden sich in der Art wie die Beschichtungsmaterialien geschmolzen und auf der Oberfläche abgeschieden werden. Das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen, auch HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) genannt, liefert Schichten mit sehr guten technischen Eigenschaften, die mit Hartchrom Oberflächen vergleichbar sind. In einem technisch aufwendigen Prozess gibt es so gut wie keine Begrenzungen bei Bauteilgeometrie oder -größe. Das Spektrum beschichtbarer Grundmaterialien ist groß ebenso die Auswahl an Beschichtungsmaterialien.

Im dekorativen Bereich werden aus Chrom (III) Elektrolyten inzwischen Chromschichten abgeschieden, die den Anforderungen der Industrie gerecht werden. Die Eigenschaften sind auf den Hartchrombereich nicht übertragbar, s. d. der vergleichbar höhere technische Aufwand mit den erhaltenen Ergebnissen nicht vertretbar ist. In *Tabelle 6* sind die aufgezeigten Verfahren mit Beispielen zusammengefasst.

Welche Argumente sprechen für Hartchrom?

- Aufgrund der beschriebenen Kristalleigenschaften bietet Hartchrom die höchste Haftfestigkeit.
- Einige Technologien können Teilaspekte des Eigenschaftsprofils von Hartchrom abdecken.

- Die Bandbreite der Hartchromeigenschaften ist groß. Sie zu ersetzen erfordert die Kombination mehrerer Technologien.
- Der Schichtaufbau aus Kombinationsschichten ist kostenintensiv.
- Änderungen in Beschichtungsverfahren ziehen eine Reihe von Maßnahmen nach sich (z. B. Anpassung der Konstruktion, Überprüfen von Normen, Wahl des tribologischen Partners usw.)
- Mitunter aufwendige Vorbehandlungen, die nicht in den jeweiligen Prozess eingebunden werden können. Im Hartchromverfahren reichen einfache Vorbehandlungsschritte aus, die in der Anlage „nass in nass“ hintereinander geschaltet werden.
- Klassische Lohnbeschichter müssten die Verfahren in ihre Anlage integrieren. Einem großen finanziellen Aufwand steht die Frage der Anlagenauslastung gegenüber.

Fazit: Totgesagte leben länger. Im Vergleich zeigt sich, dass keine Schicht in Summe an die Eigenschaften von Hartchrom herankommt.

Wiederholt bot das Z.O.G. den Teilnehmern ein hochwertiges Seminar. Das Thema Hartchrom stand zuletzt 2013 auf dem Programm. Es bleibt abzuwarten mit welchen Inhalten ein weiteres Hartchromseminar in ein oder zwei Jahren den Interessierten angeboten wird. Das Modul 3 wurde mit der Ausgabe der Zertifikate abgeschlossen. Dem fem gilt der Dank für die exzellente Gastfreundschaft.

Text: Dr. Elke Moosbach

Fotos: Erich Arnet

Galvanotechnik
Älteste Fachzeitschrift für die Praxis der Oberflächenbehandlung

**In 50 Ländern der Erde im
 Abonnement von Fachleuten gelesen**