

1

Einführung

Jeder Gegenstand steht über seine Oberfläche in Wechselwirkung mit der Umgebung. Vor-dergründig betrachten wir dabei die Oberfläche von Werkstücken. Sie kann sowohl organischer als auch anorganischer Natur sein. Hauptsächlich handelt es sich um Metall, Kunststoff, Keramik oder Glas. Als Konsequenz daraus folgt:

Eine Oberfläche befindet sich immer in Wechselwirkung mit der Umgebung, verbunden mit einer Veränderung ihrer Eigenschaften. Durch eine gezielte Oberflächenveränderung lässt sich ein neues Oberflächenverhalten schaffen.

Oberflächentechnik beinhaltet sowohl den Schichtauftrag auf eine geeignete Substratoberfläche als auch die gezielte Veränderung der vorhandenen Oberfläche.

Durch sie wird die Werkstückoberfläche so modifiziert, dass sich insbesondere definierte mechanische, optische, elektrische und chemische Eigenschaften ergeben, die das Grundmaterial ohne diese Behandlung nicht aufweisen würde.

Bei der Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580:2003-09 sind Urformen (1), Umformen (2), Trennen (3), Fügen (4), Beschichten (5) und Stoffeigenschaftändern (6) Hauptgruppen. Von den 6 Hauptgruppen berühren unser Anliegen im Wesentlichen die Hauptgruppen 3, 5 und 6, den Schwerpunkt aber bildet die Hauptgruppe 5 „Beschichten“.

Reinigen, Entfetten, Beizen und Ätzen sind eingeordnet in die Hauptgruppe 3 „Trennen“ und muss damit in einem Lehrbuch der Oberflächentechnik Berücksichtigung finden. Ausgangspunkt für die garantierbare Qualität einer durch ein Verfahren der Oberflächentechnik erreichten Erzeugnisoberfläche ist die Schaffung eines definierten Oberflächenzustandes.

Stoffeigenschaftändern bedeutet in der Oberflächenrandzone durch Umlagern, Aussondern oder Einbringen von Stoffteilchen Stoffeigenschaften verändern. Beim Stoffeigenschaftändern wird das Substrat in der Hauptsache durch mechanische und thermische Einwirkung in seiner Struktur bzw. dem Gefüge verändert, durch thermo-chemische Einwirkung bzw. durch Materialaufnahme von außen (Diffusion) in der Zusammensetzung. Die Hauptgruppe 6 bleibt Lehrbüchern zur Eigenschaftsänderung metallischer Werkstoffe vorbehalten.

Die Hauptgruppe 5 „Beschichten“ beinhaltet das Merkmal den „Zusammenhalt (zwischen Substrat und Schicht) vermehren“. Bei der Beschichtung wird das Material, das die gewünschten Eigenschaften aufweist, zusätzlich als Schicht auf den Grundkörper aufgebracht. Es entstehen Verbunde, wobei das Volumen des Werkstückes den Festigkeits- und Zähigkeitsanforderungen (mechanisches Verhalten) genügt, während die aufgetragenen Schichten darüber hinausgehende spezifische Anforderungen erfüllen müssen, wie Korrosions- und Verschleißverhalten, elektrische Leitfähigkeit, Reflexionsvermögen und dekorative Wirkung. Eine ausreichende Haftung der Schicht auf dem Grundkörper ist deshalb die Voraussetzung

für die Funktion dieser Verbunde, auch beim Auftreten mechanischer Spannungen, z. B. hervorgerufen durch unterschiedliche thermische Ausdehnung.

Verfahren zur Herstellung funktioneller und dekorativer Oberflächen sind Schlüsseltechnologien im modernen Maschinen- und Anlagenbau, im Fahrzeugbau, der Medizintechnik, der Raumfahrt sowie in der Elektrotechnik/Elektronik. Sie finden ihren Einsatz aber traditionell auch in der Schmuck- und Bekleidungsbranche sowie bei der Herstellung von Möbeln, Gebrauchsgegenständen und Verpackungsmaterialien. Durch Veredeln der Oberfläche werden viele Produkte erst einsetzbar oder konkurrenzfähig. Die Attraktivitätserhöhung eines Erzeugnisses und das damit verbundene wirtschaftliche Ergebnis übersteigen die durch die Oberflächentechnik verursachten Aufwendungen – Oberflächentechnik ist in jedem Falle ein Gewinn. Man kann diese Aussage durch das folgende Beispiel verdeutlichen:

Um einem Kontakt die Gebrauchswerteigenschaften von Gold zu verleihen, muss er nicht aus massivem Gold bestehen, es genügt eine Vergoldung in geringer Schichtdicke.

Für das Beschichten von Oberflächen kann man verschiedene Ordnungsprinzipien wählen. Nach DIN EN 8580 sind die Verfahren nach den physikalisch-chemischen Vorgängen im schichtbildenden Werkstoff beim Beschichten gegliedert in Gruppen:

Gruppencharakteristik	Verfahrensbeispiele (Untergruppe)
5.1 flüssiger, 5.2 plastischer oder 5.3 breiiger Zustand	Tauchen, Spritzen, Streichen, Drucken
5.4 körniger, pulveriger Zustand	Wirbelsintern, Pulverspritzen, thermisches Spritzen
5.6 Schweißen, 5.7 Löten	Auftragschweißen, Auftragslöten
5.8 gas- oder dampfförmiger Zustand	PVD (Vakuumbdampfen und -bestäuben), CVD
5.9 ionisierter Zustand	Galvanisieren, außenstromlose Verfahren, Eloxieren, KTL

Die Gruppe 5.5 entfällt in der Norm, da Beschichten aus dem spanförmigen Zustand nicht vorkommt.

Um Schichtbildung und damit verbundene Schichteigenschaften verstehen zu können, muss man den Werkstoff, aus dem die Schicht besteht, charakterisieren. Gleiche Bedeutung besitzt der Substratwerkstoff, weil aus der Art der Bindungen und der Anordnung der Bausteine in oberflächennahen Bereichen das typische Verhalten von Oberflächen resultiert und sich damit der Schichtbildungsmechanismus ergibt. Für die metallischen, nichtmetallisch organischen und nichtmetallisch anorganischen Schichten sind deshalb die Wechselwirkungen zwischen Schicht und Substratoberfläche herauszuarbeiten.

Zur Herstellung funktioneller Schichten kommen chemische und physikalische Abscheidungsverfahren zur Anwendung, ebenso wie Verfahren und Methoden zur Oberflächenumwandlung mit folgenden Zielen:

- Korrosionsschutz,

- Verschleißverhalten,
- Leitfähigkeitsverhalten, elektrisch und thermisch,
- optisches Verhalten,
- Dekoration und Ästhetik,
- Benetzbarkeit,
- biochemische Aktivität,
- spezielle Topografie.

Zunehmend gewinnen Bestrebungen an Bedeutung, die eine Senkung des Energieaufwandes, des Materialeinsatzes und der Personalkosten bewirken. Die Beachtung aller drei Komponenten bei der Verfahrensauswahl bewirkt einen systemischen Ansatz. Das führt u. a. dazu, die teilweise umweltbelastenden sowie material- und energieintensiven Technologien durch neue Verfahren zu ersetzen bzw. etablierte den genannten Forderungen entsprechend anzupassen.

Bei Abscheidungsverfahren mit wässrigen Elektrolyten steht die Verminderung der Spülwassermenge im Vordergrund; neue Elektrolytrezepturen führen zu niedrigeren Arbeitstemperaturen. Die Absenkung der Arbeitstemperaturen in thermischen Verfahrensschritten, wie z. B. Einbrennen, ist eine weitere Möglichkeit zur Energieeinsparung. In der Beschichtungs- und Oberflächentechnik kommen in unterschiedlichem Umfang umwelt- und gesundheitsschädigende Stoffe zum Einsatz. Es gilt, diese zu minimieren bzw. sie völlig zu vermeiden.

Die Wettbewerbsfähigkeit angewandeter Verfahren hängt mit ab von den Möglichkeiten Prozessabfälle, Spülwasser und Inhaltsstoffe aus ausgearbeiteten Elektrolyte in den Prozess zurückzuführen, Wertstoffe zurückzugewinnen sowie deren Entgiftung.

Für die Herstellung von Gerätesystemen der Informationstechnik, der Mechatronik und der Mikrosystemtechnik sind strukturierte Schichtareale notwendig. Deshalb ist es sinnvoll, Verfahren zur Strukturierung von Schichten zu behandeln. Zur Strukturierung eignen sich zwei prinzipielle Wege; gezieltes Abtragen von Material aus einer geschlossenen Schicht (*Subtraktivtechnik*) oder strukturiertes Abscheiden des Schichtwerkstoffes (*Additivtechnik*).

Mit dem geeigneten „Werkzeug“ lässt sich das Schichtmaterial in vorherbestimmten Bereichen abtragen. Die Ausdehnung der Bereiche korrespondiert wesentlich mit dem gewählten „Werkzeug“. Durch mechanische Verfahren sind Strukturbreiten im Bereich von 50 µm realisierbar. Mittels Laserabtrag erreicht man geringere Strukturbreiten bis etwa 15 µm. Erfolgt das Abtragen durch Ätzmittel, würde der Schichtwerkstoff „flächig“ abgetragen. Eine Struktur lässt sich auf diese Weise durch Anwendung einer strukturierten Maske erzielen. Mithilfe der Fotolithografie und Elektronenstrahlolithografie können derartige Masken, je nach angewandter Strahlung, bis in den Nanometerbereich strukturiert werden. Strukturen beim Auftragen des Schichtwerkstoffes lassen sich mit Maskentechnik bzw. Drucktechnik herstellen. Die laseraktivierte Schichtabscheidung stellt ein weiteres Additivverfahren dar.

Durch ständige Überwachung der Betriebsparameter im Verlaufe der Schichtherstellung wird die Reproduzierbarkeit der Schichteigenschaften gewährleistet. Dazu steht eine Vielzahl

von analytischen und den Prozess steuernden Methoden und Geräten zur Verfügung. Rechnergestützt wird gleichzeitig eine hohe Anzahl von Parametern erfasst, verarbeitet und zur Prozesssteuerung verwendet. Eine Behandlung dieses Komplexes würde weit über das Anliegen dieses Buches hinausgehen.

Um die Einhaltung der vorgegebenen Schichteigenschaften (Zielgrößen) nachzuweisen und die Reproduzierbarkeit der ausgewählten Technologie überprüfen zu können, kommt den Methoden zur Charakterisierung der Schicht ebenfalls große Bedeutung zu. Sie sind deshalb unverzichtbarer Bestandteil eines Lehrbuches der Oberflächentechnik. Mit an vorderster Stelle, hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Schichtqualität stehen Haftung, Schichtdicke und Perfektion der Schicht.

Als fachübergreifende Disziplin umfasst die Oberflächentechnik die Vorbehandlung, die Verfahren zur Schichtherstellung, die Fertigungskontrolle und die Werkstoffprüfung sowie den Umweltschutz und das Recycling.

Zusammenfassung

Aufgaben und Ziele der Beschichtungs- und Oberflächentechnik

- Oberflächentechnik beinhaltet sowohl Schichtauftrag als auch gezielte Veränderung der vorhandenen Oberfläche.
- Von sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580:2003-09 tangieren die Oberflächentechnik insbesondere das Trennen, das Beschichten und das Stoffeigenschaftändern.
- Bei der Beschichtung entstehen Verbunde aus dem Werkstück (Grundkörper) und einer Schicht, wobei der Grundkörper hauptsächlich mechanische und die Beschichtungen zusätzliche Anforderungen erfüllen.
- Ein systemischer Ansatz bei der Verfahrensauswahl führt zur Substitution umweltbelastender sowie material- und energieintensiver Technologien.
- Viele Anwendungen von beschichteten Bauteilen bedingen die Erzeugung strukturierter Schichtareale.
- Zum Nachweis der Schichteigenschaften und der Reproduzierbarkeit der angewandten Technologie kommen zahlreiche Untersuchungsmethoden zum Einsatz.

2

Aufbau und Eigenschaften oberflächennaher Werkstoffbereiche

In vielen Lehrbüchern der Oberflächentechnik stehen die Verfahren der Schichtbildung und die Methoden zur Bestimmung von Schichteigenschaften im Vordergrund. Um aber Zusammenhänge zwischen Technologie und Eigenschaften erfassen zu können, sind genauere Kenntnisse zu den Eigenschaften der Substratwerkstoffe und ihrer oberflächennahen Bereiche erforderlich. Den gesamten Komplex Substrat - Oberfläche - Schicht soll Bild 2.1 veranschaulichen.

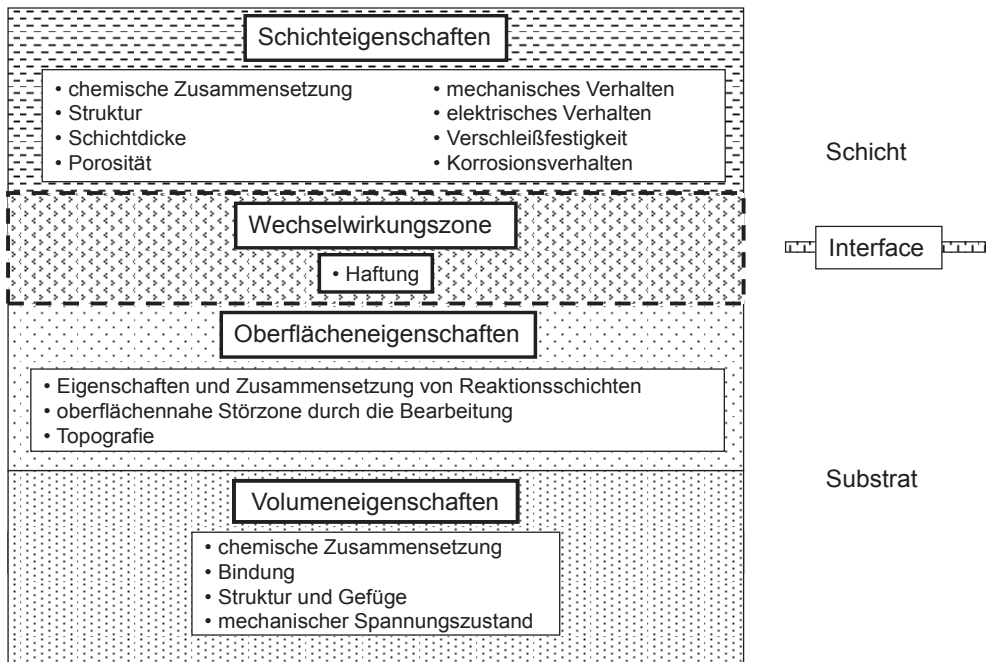


Bild 2.1: Strukturschema der äußeren Bereiche eines beschichteten Substrates

Dieses Schema umfasst die physikalischen und chemischen Verhältnisse einer Werkstückoberfläche nach erfolgter oberflächentechnischer Bearbeitung. Im Bild 2.2 ist der Zustand des Werkstückes vor der Vorbehandlung skizziert. Unter Substrat soll der Werkstoffzustand unterhalb von Fremd- und Deckschichten verstanden werden (Grundwerkstoff). Die Bereiche 1, 2 und 3 lassen sich zum Begriff **Randzone** zusammenfassen.

Als Substratwerkstoffe sollen die Werkstoffgruppen Metalle, Kunststoffe, Keramiken und Gläser näher charakterisiert werden. Ihre Eigenschaften resultieren immer aus dem Bin-

dungszustand zwischen den elementaren Bausteinen (Atome, Ionen, Moleküle) sowie ihrer räumlichen Anordnung und Verteilung; zu beachten ist dabei, dass die unmittelbar die Oberfläche bildenden Bausteine nichtabgesättigte Bindungszustände besitzen. Als Folge davon findet zur Absättigung dieser Bindung die Wechselwirkung mit der Umgebung statt. Für die oben genannten Substratwerkstoffe erfolgt im Weiteren eine modellhafte Darstellung der Bindungsarten und resultierenden Ordnungszustände im festen Zustand.

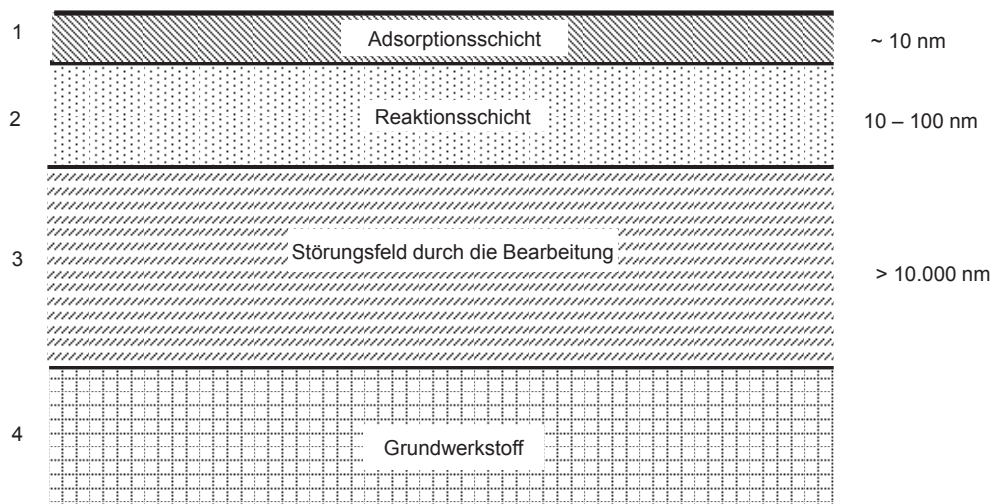
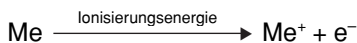


Bild 2.2: Oberflächennahe Bereiche eines Substrates
 1 H_2O , organische Substanzen, O_2 , N_2 , CO_2 u. a.
 2 Oxide, Sulfide, Carbonate u. a.
 3 mechanische und thermische Bearbeitung
 4 Substrat

■ 2.1 Metallische Werkstoffe

Im Vergleich zu den Edelgasen und Nichtmetallen besitzen die Metalle eine geringere Ionisierungsenergie. Zur Ionisierung eines Metallatoms muss ein Elektron unter Energiezufuhr die Hülle verlassen.



Diese Elektronen gehören keiner Elektronenhülle eines benachbarten Atoms mehr an und sind somit keinem speziellen Atom zuordenbar. Die Metallbindung beruht auf der elektrostatischen Wechselwirkung zwischen den Metallkationen, oft auch in diesem Zusammenhang als positive Atomrümpfe bezeichnet, und im Festkörperverband beweglichen Elektronen (Leitungselektronen). Mit einer Bindungsenergie von ca. $200 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ zählt die Metallbindung zu den schwächeren Hauptvalenzen. In Analogie zur Gastheorie nennt man die sogenannten „frei“ beweglichen Elektronen auch Elektronengas. Die wellenmechanische Theorie der Metallbindung geht bei der Bildung des kristallinen Festkörpers von der Aufweitung diskreter Energieniveaus des Einzelatoms zu Energiebändern aus. Dabei bildet

sich das sog. Leitungsband, in dem unter Aufnahme von Energie diese Leitungselektronen verschiebbar werden. Bei der Metallbindung handelt es sich um eine ungerichtete Bindung. In einem Volumenelement des metallischen Festkörpers lässt sich deshalb eine maximale Packungsdichte erreichen. Es bilden sich die bekannten Gitterstrukturen, wie kubisch flächenzentriert, kubisch raumzentriert und hexagonal. Außerdem ergibt sich hieraus die relativ leichte Austauschbarkeit der Metallkationen gegen andere mit ähnlichem Atomvolumen und gleicher Valenzelektronenzahl.

Mit diesem Modell der Metallbindung lassen sich die für die Oberflächentechnik bedeutsamen Eigenschaften der Metalle ableiten. Das Elektronengas ist hauptsächlich verantwortlich für die hervorragende Leitfähigkeit der meisten Metalle für Strom und Wärme sowie ihren metallischen Glanz. Die hohe Packungsdichte und Austauschbarkeit der Atomrümpfe im Metallgitter wird zum strukturbestimmenden Faktor und erklärt die Möglichkeit der Legierungsbildung und die Duktilität (Verformbarkeit).

Hinsichtlich ihrer Struktur sind Metalle kristalline Werkstoffe, deren Bausteine dreidimensional, sich periodisch wiederholend, in Form einer Fernordnung vorliegen. Das entspricht der Vorstellung von einem Idealgitter. Das Realgitter weicht von diesem Modell ab und besitzt Gitterfehler (Defekte), wie:

- Punktdefekte (Leerstelle, Zwischengitteratom, Fremdatom),
- Liniendefekte (Versetzungen),
- Flächendefekte (Korngrenzen, Phasengrenze u. a.) wie im Bild 2.3 (1) veranschaulicht.

Neben den Gitterfehlern in atomaren Bereichen entstehen in Metallen technischer Reinheit zusätzlich makroskopische Defekte (Volumendefekte), wie Einschlüsse, Ausscheidungen u. a. (siehe Bild 2.3 (2))

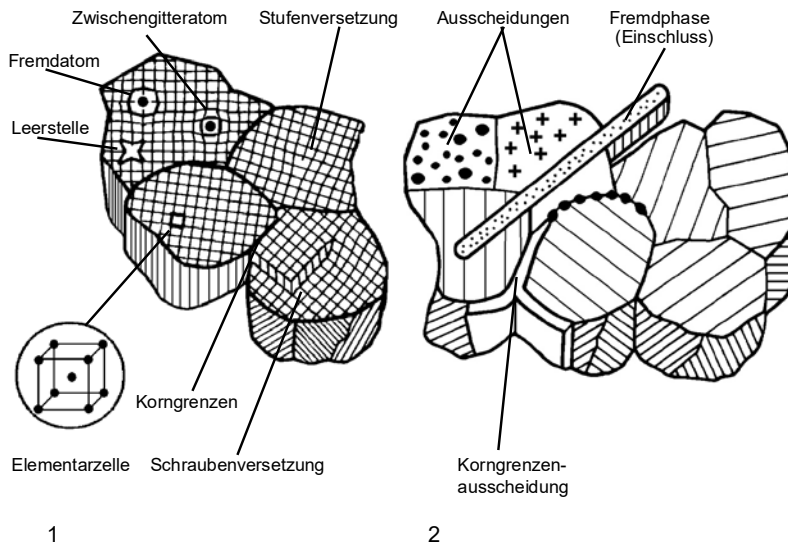


Bild 2.3: Strukturdefekte in Metallen (nach SCHREIBER)

- 1: Gitterfehler in einem reinen Metall
- 2: Gefüge in einem Metall technischer Reinheit

Jede Abweichung vom idealen Metallgitter verursacht eine Abweichung vom Gleichgewichtsabstand und führt damit zur Ausbildung eines Spannungszustandes im atomaren Bereich. Das wirkt sich insbesondere auf das mechanische Verhalten der Metalle und in bedeutendem Maße auf die elektrische Leitfähigkeit aus. Gitterfehler beeinflussen auch das Korrosionsverhalten. Die in der Praxis eingesetzten Metalle sind in den allermeisten Fällen polykristallin. Sie bilden einen Verband vieler kleiner Kristalle, die man als Kristallite oder Körner bezeichnet. Die Bildung der Kristallite beginnt an einem Keim, sodass z. B. in einer Schmelze gleichzeitig viele Kristallite wachsen. Mit Abschluss der Kristallisation stoßen also einzelne zufällig orientierte Kristallbereiche gegeneinander. Es entstehen Grenzbereiche (Korngrenze) mit vom Korninneren abweichender Anordnung. Jeder Kristallit ist in sich anisotrop, d. h. die Eigenschaften sind richtungsabhängig. Ein polykristallines Material mit einer Vielzahl unterschiedlich orientierter Kristallite verhält sich quasiisotrop. In den Korngrenzen finden wir eine Anhäufung von Gitterfehlern, wie Punkt- und Liniendefekte. Die Korngrenze, ein Gebiet mit gestörter interatomarer Ordnung, stellt einen Bereich mit erhöhtem Energieinhalt dar. Sie unterscheidet sich deshalb in den chemischen und physikalischen Eigenschaften vom Korninneren. Korngrenzen führen zur Erhöhung des elektrischen Widerstandes, zur Behinderung von Verformungsvorgängen, zu erhöhter chemischer Reaktionsfähigkeit und zur Ausbildung von Diffusionswegen.

Während die Bindungen zwischen den Atomrümpfen im Inneren des Metallgitters abgesättigt sind, trifft das für die Oberfläche und auch den oberflächennahen Bereich nicht zu. Sie verfügen nach außen hin über noch bindungsfähige Elektronenzustände (freie Oberflächenenergie) und bewirken die Ausbildung von Bindungen mit zur Verfügung stehenden Atomen, Ionen oder Molekülen an der Grenzfläche zwischen Metalloberfläche und Umgebung (siehe Bild 2.4).

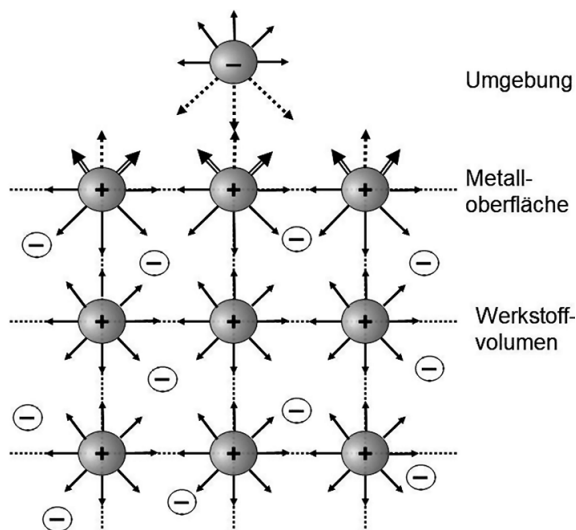


Bild 2.4: Wechselwirkung der freien Metalloberfläche mit anderen Medien

Für die Beurteilung von Bindungszuständen ergibt sich die Notwendigkeit, in Haupt- und Nebenvalenz zu differenzieren. Hauptvalenzen sind die Ionen-, Atom- und Metallbindung. Zu den Nebenvalenzen zählen schwache elektrostatische Wechselwirkungen, z. B. zwischen Dipolen und sehr schwache elektrostatische Wechselwirkungen durch LONDON- oder Dispersionskräfte. Nebenvalente Bindungskräfte werden auch zwischenmolekulare Bindungen genannt.

Ein besonderes Merkmal der Metalloberfläche besteht in der Anwesenheit frei verschiebbarer Elektronen im Leitungsband. Nähert sich eine elektrische Ladung der Metalloberfläche auf den Abstand a , so verteilen sich die Elektronen innerhalb eines oberflächennahen Bereiches neu. Ihre ursprünglich homogene Verteilung wird gestört und es kommt zur Ausbildung eines COULOMB-Feldes. Das Metall wirkt wie eine entgegengesetzte Ladung im Abstand a von der Oberfläche. Diese Vorstellung von jener Spiegel- oder Bildladung führt für den Fall der Annäherung einer negativen Ladung zur Anziehung durch die sog. Bildkraft.

Insgesamt kommt es also an Metalloberflächen durch COULOMB-Kräfte der Atomrümpfe und der Bildladung zur elektrostatischen Wechselwirkung mit geladenen Teilchen, die sich der Oberfläche annähern.

Jede Bearbeitung des Metalls führt zu nachhaltigen Änderungen von Struktur und Gefüge. Eine bildliche Darstellung der realen Werkstückoberfläche nach erfolgter Bearbeitung zeigt Bild 2.5. Bei einigen Fertigungsverfahren (Walzen, Schmieden) werden Kristallite erzeugt, die bevorzugt in Bearbeitungsrichtung orientiert sind, es entsteht die Textur. Orientierte Strukturen entstehen ebenfalls z. B. beim Gießen.

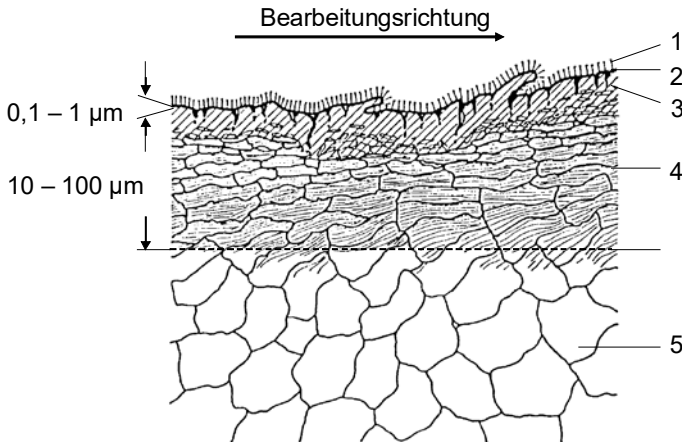


Bild 2.5: Beispiel der bearbeiteten Werkstückoberfläche eines Metalls
 1 Fett- oder Ölfilm 2 Adsorptions- und Reaktionsschicht (1 + 2 bilden die äußere Grenzschicht) 3 Übergangszone 4 innere Grenzschicht 5 ungestörtes Metallgefüge

Als Folgen einer Bearbeitung sind neben der Formgebung weiterhin zu berücksichtigen:

- Änderung des elektrochemischen Potentials,
- Verfestigung,

- anisotropes Verhalten der Metalle mit Textur,
- Änderung des Oberflächenprofils.

Das elektrochemische Potenzial verändert sich zu negativeren Werten und damit wird die Oberfläche korrosionsanfälliger. So muss man von einem hochlegierten Chromnickelstahl mit hoher Korrosionsbeständigkeit die Verformungsrandzone entfernen, um die ursprüngliche Korrosionsfestigkeit wiederherzustellen, z. B. durch elektrochemisches Polieren.

In der Folge der Verfestigung bilden sich in der Oberflächenzone mechanische Spannungen aus, die bei einer Beschichtung zur ungenügenden Haftung zwischen Oberfläche und Schicht führen können. Um dem vorzubeugen, baut man durch geeignete Wärmebehandlungsverfahren, wie Spannungsarmglühen und Rekristallisieren, derartige Spannungen ab.

Anisotropie in der Oberflächenschicht bewirkt bei Ätzprozessen eine unterschiedliche Angriffsgeschwindigkeit und damit eine unterschiedlich große Ätzrate.

Bei der Bearbeitung von Oberflächen durch Verformen entsteht durch abrasiven und/oder adhäsiven Verschleiß die Profiländerung. Die damit verbundene Vergrößerung der geometrischen hin zur wahren Oberfläche kann zur Erhöhung der Haftung von Beschichtungen auf solchen Oberflächen genutzt werden. Ein weiterer Beitrag kann sich durch die mechanische Verankerung ergeben.

■ 2.2 Nichtmetallisch anorganische Werkstoffe

Im engeren Sinne handelt es sich hier um keramische Werkstoffe und Gläser. In beiden Werkstoffgruppen findet man sowohl Ionen- als auch Atombindungen (= Kovalenz) vor. Keramiken sind vom Bindungstyp her ionisch, aber auch durch polarisierte Kovalenzen gekennzeichnet. Der dominierende Bindungstyp in Oxidkeramiken, z. B. in Al_2O_3 - und ZrO_2 -Keramik, ist die Ionenbindung. Die Elektronegativitätsdifferenz der Bindungspartner entscheidet über die Ausbildung einer Ionenbindung oder einer polarisierten Kovalenz. Als Richtwert gilt eine Differenz im Bereich um 1,7. Liegt die Elektronegativitätsdifferenz der Bindungspartner unter 1,7, bilden sich im Gitter keine Ionen mehr, es entstehen polarisierte Atombindungen, wie z. B. in Carbiden (SiC , WC) und Nitriden (Si_3N_4 , TiN).

Ionenbindungen entstehen durch Abgabe und Aufnahme von Elektronen zwischen den sich bindenden Teilchen, es entstehen dadurch Kat- bzw. Anionen, deren Ionenladungen zwischen eins und drei liegen können. Um jedes einzelne Ion bildet sich im Idealfall ein kugelsymmetrisches elektrostatisches Feld. Infolge der Coulombschen Anziehung zwischen vielen entgegengesetzt geladenen Ionen entsteht das Ionengitter. So beschränkt sich also die Bindung eines einzelnen Kations nicht auf ein bestimmtes einzelnes Anion, sondern sie besteht gleichmäßig mit allen benachbarten Anionen und umgekehrt. Die Ionenbindung stellt demzufolge eine ungerichtete Bindung dar. An der Oberfläche werden die elektrostatischen Ladungen infolge des Fehlens der Partnerionen nur teilweise abgesättigt. Eine solche Oberfläche zeigt immer das Bestreben, mit geladenen Teilchen aus der Umgebung zu wechselwirken. Demgemäß können sich z. B. Wasserdipole nebenvalent an die Oberfläche einer solchen Keramik binden, was hydrophile Verhalten entspricht (siehe Bild 2.6).

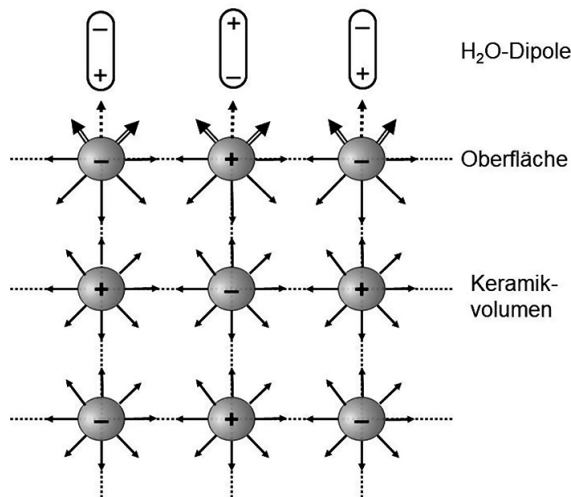


Bild 2.6: Wechselwirkung einer ionischen Keramikoberfläche mit Wasser (Als Ladungsverhältnis für diesen Modellfall gilt Kation : Anion = 1 : 1)

Werden die Elektronen nur anteilig abgegeben und aufgenommen, entsteht eine polarisierte Atombindung und im Ergebnis ein polarisiertes Atomgitter. Die bindenden Orbitale überlappen sich im Sinne der Atombindung, aber infolge der vorhandenen Elektronegativitätsunterschiede ist diese polarisiert. Auf der Oberfläche einer derartigen Keramik wirken darum schwächere elektrostatische Kräfte im Vergleich zum Ionengitter.

Aufgrund des Fehlens „frei“ beweglicher Elektronen im Gitter sind Keramiken elektrisch nichtleitend und infolge der relativ hohen Bindungsenergie sind die Gitterbausteine in den Ionengittern bzw. polarisierten Atomgittern schwer gegeneinander verschiebbar. Keramiken sind hart, spröde und wenig duktil sowie thermisch hoch belastbar. Da keramische Werkstoffe prinzipiell durch Sinterprozesse aus pulverförmigen Ausgangsstoffen hergestellt werden, sind sie porös. Neben der Vergrößerung der wahren Oberfläche bedeutet Porigkeit den Einschluss von Flüssigkeiten und Gasen. Wird eine solche Oberfläche ohne entsprechende Maßnahmen beschichtet, kann das beim Erwärmen zum Abheben der Schicht führen. Andererseits kann die Porosität unter der Voraussetzung einer „sauberen“ Oberfläche zur mechanischen Verankerung beitragen und damit die Haftung erhöhen.

Gläser enthalten als bestimmende Bausteine (Nahordnung) SiO_4 -Tetraeder und Alkali- und Erdalkalioxide. Die SiO_4 -Tetraeder bilden miteinander ein Netzwerk, das durch den Einbau der Alkali- und Erdalkali-Kationen gestört wird (Netzwerk-wandler). Im Gegensatz dazu kann sich im Quarzkristall ein ungestörtes Raumnetz von SiO_4 -Tetraedern ausbilden. Diese Zusammenhänge soll das Bild 2.7 veranschaulichen.

Sachwortverzeichnis

A

Abfall 266
Abfallverbrennung 267
Abkochen 37
Abluft 266
ABS 102
Abscheidung (electroless plating)
- außenstromlose 63
- autokatalytische 63
- chemische Metallisierung 63
- chemisch-reduktive 63
Abscheidungskonstante 74
Abscheidungsverfahren 12
- chemische 12
- physikalische 12
Abscheidung, zementative 97
ABS-Effekt 104
Abspritzen 38
Abtragen, mechanisches 175
Abtragverfahren 33
Abwasser 266
ACC-Beschichtung (Autophoretic Coating
Chemicals) 171
ACC-Technik 156
Additive 150, 157
Additivtechnik 13, 211, 238
Adhäsion 26
Adsorbat 27
Adsorbens 27
Adsorpt 27
Adsorption 26
Adsorptionsmittel 27
Adsorptiv 27
AFM 260
Airless-Spritzen 166
Aktivator 211
- ionogener 99
- kolloidaler 99
Aktivierung 99
Aktivität, biochemische 13
Aktivkohle 266
Algen 35
Alitieren 132
Alkydharze 144

Alucoat 124
Aluminal 124
Aluminieren 132
Aluminiumoxid 123
Anionen 67
Anionenaustauscher 271
Anoden
- inerte 82
- lösliche 82
Anodenschlamm 89
Antiausschwimm-Mittel 157
Antifoulingmittel 157
Äquipotenziallinien 79
AquoKomplex 68
Arbeitssicherheit 275
Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS) 243
Atomgitter 21
Atomic Force Mikroskopie 260
ATR-Technik 246
Ätzen 33, 210f., 222f., 226f., 231, 239
Ätzmittel 224, 229
Ätzreaktionen 224
Ätzresist 215, 221
Ätzverfahren 211, 222, 226
Aufdampfen 107, 181
Aufstäuben 108
Auftraglöten 129
Auftragschweißen 129
Ausschleppverlust 55
außenstromlose Metallabscheidung 211
Autokatalyse 95
Azofarbstoffe 206

B

Baktericid 157
Bakterien 35
Bandverzinkung 114, 121
Basecoat 134
Basismaterial 234, 235, 239
Beizen 33, 46, 53
- anodisches 48
- elektrolytisches 48
- katodisches 48

Beizreaktion 188
Bekeimung 95
Benetzbarkeit 13, 263
Benetzung 26
Benetzungsrandwinkel 26
Benetzungstest 36
Bereiche, kristalline 25
Beschichtung, außenstromlose 99
Beta-Rückstreuverfahren 252
Bewitterungsversuche 248
Biegeversuch 256
bifunktionell 139
Bindemittel 150, 230 f.
– amorphe 152
– teilkristalline 152
Bindungsenergie 16
Bindungskräfte, zwischenmolekulare 151
Bindungszustand 15
Böhmit 204
Brechungsindex 154
Brennen 46
BR-Typ 78
Brünieren 187, 194
Bürsten 39

C

Cantilever 261
Chemical Vapour Deposition 107
Chemisorption 27, 180
Chrom-Aluminieren 132
Chromat 193
Chromatentgiftung 274
Chromatieren 121, 187, 193
Chromit 193
Chromitierung 193
Chrommasken 213
Chromschwefelsäure 103
constant force mode 261
constant height mode 261
Copolymerisate 148 f.
Coulomb-Kräfte 19
CVD 107, 181
CVD-Verfahren 27, 176, 181
Cyanidentgiftung 273

D

Daniell-Element 63
Deckfähigkeit 81
Deckschichten 15
Deckvermögen 158, 261 f.
Dekapieren 46, 50
Dekoration und Ästhetik 13
Desorption 267

Diacetyldioxim 259
Dichte 154
Dickschichtpassivierung 193
Diffusionspolarisation 77
Diodensputteranlage 112
Dipol 24
Dipole 152
Dipolmolekül 155
Direktbelichtung 213 f.
Direktstrukturierung 214
Dispergierhilfen 157
Dispergiermittel 269
Dispersion 134
Dispersionskräfte 19
Dispersionssschichten 91, 100
Dissoziationsgleichgewicht 67
Dissoziationsgrad 70
Doppelschicht, elektrische 65, 75
Doppelseitige LP 234
Drahtflammspritzen 127
Driftgeschwindigkeit 70
Druckknopfeffekt 24, 104
Druckluftstrahlen 45
Druckmedien 221
Duktilität 59, 256
Duplexsystem 121
Durchschlagfestigkeit 259
Durchtrittspolarisation 77
Duomere 25

E

ECD 63
Edelmetall 23
EDX 242
Einbrennen 180, 231
Einbrennlacke 194
Einebnung 81
Einkomponentensystem 162
Eisblumen 117
electroless plating 63
Elektrochemisches Abtragen 227
Elektrochemisches Äquivalent 64
Elektronegativitätsdifferenz 20
Elektronengas 16
Elektronenstrahlolithografie 13
Elektronen-Strahl-Mikroanalyse (ESMA) 242
Elektropolieren 50
Elektrotauchlackieren 168
Eloxalschicht 199 ff.
Eloxieren 187
Eloxier-Verfahren 202
Email 176
Emailfritte 177
Emailleschichten 176

Emaillieren 176, 178
 Emulgatoren 164
 Energiebänder 16
 Energy Dispersive X-Ray-Analysis 242
 Entfetten 33, 36
 - elektrolytisches 38
 Entfetter 52
 Entfettungslösungen , 52
 Entfettungsvorgang 266
 Entgiftung 273
 Entlacken 175
 Entlackung, pyrolytische 175
 Entmetallisierung 50
 Entsorgung 270
 Entwickeln 215, 219
 Epoxidharze (EP) 147
 EW-Verfahren 197

F

Faraday-Käfig 167
 Faradaykonstante 74
 Faradaysches Gesetz 64, 74
 Farbanodisieren 202
 Farbe 138, 158
 Färben, elektrolytisches 206
 Farbton 261
 Faserverstärkung 25
 FCKW-Halon-Verbotsordnung 39
 Feinleitertechnik 213
 Fernordnung 17
 Ferroxytest 259
 Fertigungsverfahren 11
 - Beschichten 11
 - Fügen 11
 - Stoffeigenschaft ändern 11
 - Trennen 11
 - Umformen 11
 - Urformen 11
 Festschmierstoffe 36
 Fette 35
 Feueraluminieren 123
 Feuerverzinken 114
 Feuerverzinnen 122 f.
 Filmbildung 161
 Filmjustage 218
 Filtration 270
 FI-Typ 78
 Flammpunkt 154
 Flammgespritzen 126
 Fließspülbad 56
 Flotation 269
 Fluidisierung 172
 Fluoreszenzstrahlung 252
 Flüssigresist 215

Flussmittel 35
 Fluxen 115
 Formteilätzen 227
 Fotodruck 214, 228
 Fotofestresist 215, 217
 Fotolithografie 13, 210 f., 214, 227 f., 232, 238
 Fotometrie 247
 Fotoplotter 212
 Fotosolubilisierung 217
 Fototool 214, 228
 Fourier-IR-Spektroskopie 246
 Fransen-Micelle 25
 Fremdatom 17
 Fremdschichten 15
 Fritten 178
 FT-Typ 78
 Füllstoffe 25, 138, 150, 161
 Fungicid 157

G

Galvannealing 121
 Galvanoformung 91
 Galvanoplastik 64, 90
 Galvanoresist 219
 Galvanotechnik 63
 Gasabgabe 109
 Gelbchromatierung 193
 Gerber-Daten 212
 Gestelltechnik 87, 91
 Gitterschnittprüfung 255
 Glanzbildner 81
 Glanzbildung 81
 Glanzgrad 261 f.
 Glanznickelelektrolyte 64
 Glanzzusätze 81
 Gleitmittel 36
 Gleitschleifen 39, 44
 Gleitspanen 44
 Glimmentladungspasma 112
 Glycerol 268
 Graphitierung 91
 Grenzspannung 201
 Grenzstromdichte 83
 Gruppe, chromophore 158

H

Haftfähigkeit 254
 Haftoxide 180
 Haftung 14, 254
 Harnstoffharze (UF) 141
 Härte 59
 Härter 148, 162
 Hartsegment 104

Hartstoffschichten 176, 182
 Hartzinkschichten 117, 122
 Hauptvalenz 19
 Hautverhütungsmittel 157
 H-Brückenbindung 157
 Heißbelotung 123
 Heißbrünieren 195
 Heißentfettung 268
 Heißrollenlaminator 217
 Heißspritzverfahren 156
 Helligkeit 261 f.
 Helmholtzsche Doppelschicht 75
 High-Solids 155 f., 166
 High-Solids-Lacke 274
 Hochfrequenzplasma 181
 Hochgeschwindigkeits-Strömungszellen 90, 92
 Hochrotationsverfahren 168
 Hochtemperaturverzinken 117
 Hot Air Levelling 123
 Hydratation 67, 204
 Hydrolyse 182
 Hydroniumionen 71
 Hydrosol 99
 Hypophosphit 65

I

Idealgitter 17
 Inchromieren 132
 Inhibitoren 37, 150, 270
 – katodische 161
 Innenmetallisierung 96
 Integralfärben 202
 Interface 109
 Interfacezone 112
 Interferenz 253
 Interferenzfärben 206
 Interferenzmessverfahren 253
 Ionenaustauscherharze 270
 Ionenaustauschkreislaufverfahren 271
 Ionenbeweglichkeit 71
 Ionenplattieren 108, 113
 Ionenstrahlätzen 211, 226 f.
 Ionenstrahlithografie 211
 IR-Spektroskopie 244
 Isocyanate 156
 isotropen Ätzen 223

J

Jet-Plating 90, 92

K

Kalomelektrode 83
 Kalorisieren 132
 Kaltaufschweißen 182
 Kaltbrünierschichten 195
 Kaltpressschweißen 129
 Kaltreiniger 268
 Kanigen-Vernicklungs-Verfahren 65
 Kaskadenspülung 56
 Kaskadenspülverfahren 271 f.
 Kationen 67
 Kationenaustauscher 271
 Katodenzerstäubung 108
 Keime 18, 99
 kernkatalysiertes Trägermaterial 211
 Kesternicht-Test 247
 Kohlenwasserstoffe (HKW), halogeniert 38
 Kohlenwasserstoffe (KW) 38
 Kollisionsgeschwindigkeit 130
 Kolorimetrie 247
 Komplexbildner 37
 Kondensationsreaktion 139
 Kondenswasserklimaprüfung 247
 Kontaktwinkel 263
 Konversionsschichten , 53
 Korbtechnik 87
 Korngrenzen 17
 Korngröße 42
 Koronapulversprühsystem 173
 Korrosionsbeständigkeit 59
 Korrosionsschutz 12
 Korrosionsschutzpigmente 160
 Korrosionsverhalten 247
 Korund 41
 Kovalenz, polarisierte 20
 Kreislaufverfahren 271
 Kreislaufverfahren mit Verdampfung 271
 Kristallisationspolarisation 77
 KTL-Schichten 170
 Kugelstrahlen 45
 Kühlmittel 36
 Kunststoff 23, 54
 – thermoplastischer 24
 Kunststoffmetallisierung 102

L

Lack 138
 Laminieren 215, 217, 219
 Läppen 44
 Laser-Direkt- Imaging (LDI) 228
 Laserstrukturierung 210
 Latexsystem 164
 Leadframes 228

Leerstelle 17
 Leiterplatte 210, 234
 Leitfähigkeit, spezifische 70
 Leitfähigkeitsverhalten 13
 Leitsalze 67
 Leitungsband 17
 Leitungselektronen 16
 Lichtbogenspritzen 127
 Lichtschutzmittel 157
 Lichtstreuung 158
 Lichtwellenleitertechnik 104
 Lift-Off-Verfahrens 212
 Liganden 68
 LIGA-Technik 214
 LIGA-Verfahren 91, 231, 233, 239
 Londonkräfte 19
 Löslichkeitsprodukt 190
 Lösungsmittel 150, 216, 230
 - organische 38, 138
 Lotpasten 221, 231
 Lötstopmmaske 215
 LW-Verfahren 197

M

Magnetfeldunterstützung 112
 Magnetronsputter-PVD 112
 Magnetspeichern 210
 Makromolekül 24
 MBV-Verfahren 197
 Mehrfachschichtsysteme (CMM) 94
 Mehrfachspülkaskade 56
 Melamin-Formaldehyd-Harze (MF-Harze) 141
 Messung, elektromagnetische 251
 Metallabscheidung
 - außenstromlose 91, 94
 - elektrochemische 63
 - laserinduzierte 100
 Metallbindung 16
 Metallfärben 196
 Metallfärbetechniken 187
 Metallisierung
 - autokatalytische 63
 - chemische 63
 - chemisch-metallische 63
 Metallisierung, selektive 96
 Metallmasken 210f.
 Metallrückgewinnung 273
 Metallspritzen 124
 Metalux®-Verfahren 197
 Mikrosiebe 91
 Mittlere freie Weglänge 109
 Molmasse 152
 Monomere 139

Morphologie 260
 Multilayer-LP 234

N

Nachbehandlung 30
 Nassätzverfahren 223
 Nasslacke 138, 150, 161
 Nasslackieren 165
 Nassstrahlen 45
 Nebenvalenz 19
 Negativresist 215, 217
 Nernstsche Potenzialgleichung 65
 Netzmittel 157
 Netzwerkwandler 21
 Neutralisieren 46
 NiB-Schichten 96
 NiP-Schichten 96
 Normalpotenzial 119
 Normalspannung 256
 Novolacke 140
 numerische Apertur 214

O

Oberfläche
 - geometrische 255
 Oberflächenenergie
 - freie 18
 - spezifische 27
 Oberflächenrelief 33
 Oberflächenspannung 27, 37
 Oberflächenumwandlung 30
 Öle 35
 Olivchromatierung 193
 optische Lithografie 214
 Orbital 21
 Organosole 164
 Overspray 166, 274f.
 Oxidation
 - anodische (ANOX-Verfahren) 198
 - elektrolytische (ELOXAL-Verfahren) 198
 Oxide 30
 Oxidkeramik 20
 Oxidnetzwerk 105

P

Panel plating 235
 Pattern plating 235
 Peel-Test 257
 Permanent-Resists 211
 Permeat 269, 272
 PFOS 86, 273

- Pfropf-Copolymerisat 104
Phase, intermetallische 116
Phenolharze (PF) 139
Phosphatieren 121, 187, 192
Phosphatierung 188
Phosphatschichten 188
Physical Vapour Deposition 107
Physisorption 27, 180
Pigmente 138, 150, 158
- anorganische 159
- organische 159
Pilze 35
Pittingbildung 191
Plasmaätzen 211, 223, 227
Plasmagestützte PVD- und CVD-Verfahren 183
Plasmareinigen 50
Plasmaspritzen 127
Plasmaverfahren 33
Plastomere, teilkristalline 104
Plattieren 129
Polarisation 73, 76
Polierelektrolyte 52
Polieren 39
Polierfilm 51
Polyaddition 139
Polyaddukte 146
Polyamide (PA) 142
Polyblend 25
Polyesterharze 142
- gesättigte 143
- ungesättigte 143
Polykondensation 139
Polymerfilm 214f.
Polymerfritte 230
Polymerisate 148
Polymerisation 139
Polymersysteme
- anionische 155
- kationische 155
Polyurethane (PUR) 146
Porendichte 258
Porosität 21
Positivresist 215
Potenzial, elektrochemisches 20
Printer 218
Profilogramme 50
Prüfmethoden
- zerstörende 241
- zerstörungsfreie 241
Pull-off 256
Pulse-Plating 91, 93
Pulverflammspritzen 127
Pulverlacke 155f., 161, 274
Pulverlackieren 172, 275
Pulversintern 172
Pulversinterverfahren 156
Pulversprühen 156, 165
- elektrostatisches 172
PVD 107
PVD-Verfahren 27, 176
- Q**
- Quarzmonitorverfahren 254
Querschleife 249
- R**
- Randwinkel 27, 263
Randwinkelmessung 263
Randzone 15, 33
Rapid Prototyping 214
Rasterelektronenmikroskop (REM) 242
Rasterfotoplotter 212
Rasterkraftmikroskopie 260
Rasterplotter 212
Reaktionspolarisation 77
Realgitter 17
Reflexionsvermögen 59, 253
Reflow-Löten 231
Regenerierung 266, 270
Reinigung 35
Reinigungseffekt 30
Reinzinkschicht 117
Resistbild 210
Resistmasken 227
Resole 139
Retentat 269
Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) 243, 252
Röntgenlithografie 211, 214
Roststabilisierung 50
Rostumwandlung 50
Rückgewinnung 266
Rückhaltung 266
Rücklösen 200
Rücklösevermögen 201
Rücksprühneffekt 174
Rückstreuelektronen 260
Ruß 35
- S**
- Salze 35
Salzsprühnebeltest 247
Sand 35
Sandwichstrukturen 183
Schälverfahren 257
Schichtanalytik 242
Schichtdicke 14, 248
Schichten
- anorganische 181
- nichtmetallische organische 138

Schlacke 35
 Schleifen 39
 Schleuderverzinken 114
 Schmiermittel 36
 Schutzkolloid 99
 Schwarzchromatierung 193
 Schwarzoxidieren 197
 Schwingquarz 254
 Sealing 203
 Sedimentation 269
 Seifen 268
 Sekundärelektrone 260
 Semiadditivtechnik 212, 235, 238
 Sendzimier-Schichten 122
 Sensibilisierung 107
 Sherardisieren 133
 Siccative 157
 Siebdruck 214 f., 220, 227, 238, 240
 Siebdruckschablone 220
 Siedebereich 154
 Silikonharzlacke 145
 Silikonöle 36
 Siliziumcarbid 41
 Sinterprozesse 21
 SMD-Kleber 221, 238
 Sol-Gel-Verfahren 107
 Solvatation 151
 Solvathüllen 152
 Spanen 33
 Sperrschicht 199
 Sphärolithe 25, 104
 Spot-Plating 92
 Spreiten 263
 Sprengplattieren 130
 Spritzspülen 56
 Spritzverfahren 128, 165, 191
 - pneumatisches 165
 Spritzverzinkung 54
 Spritzzusatz 125
 Sprühen, elektrostatisches 167
 Spülen 46, 54
 Spülkriterium 54, 270
 Sputterätzen 226
 Sputtern 108, 112, 181
 - reaktives 113
 Stabilität, thermische 59
 Stammlack 162
 Standspüle 55 f.
 Staub 35
 Stern-Graham-Modell 75
 Stirnabzugverfahren 256
 Stoffe, amorphe 22
 Störzone 30
 Strahlentrostung 45
 Strahlverfahren 33

Streufähigkeit 81 f.
 Stromausbeute 82
 Stromdichte-Potenzial-Kurven 77, 82
 Stückverzinken 114
 Substrat 15
 Subtraktivtechnik 13, 210, 237 ff.
 Sulfide 30
 System
 - disperses 152
 - kolloiddisperses 152
 System Fe-Zn 116

T

Tampongalvanik 90, 92
 Tape Test 255
 Target 112
 Tauchlackieren
 - anodisches 168
 - autophoretisches 168
 - katodisches 168
 Tauchlackierung, kationische 156
 Tauchlackierverfahren 168
 Tauchspülen 56
 Temperaturwechselbeständigkeit 180
 Tenside 37, 269
 Testflüssigkeit 263
 Teststifte 263
 Testtinten 263
 Textur 19
 Thioharnstoffharze 141
 thixotropes Verhalten 221
 Thixotropierungsmittel 157
 Tiefätzen 229
 Tieftemperaturentlackung 176
 Tiefung 256
 Tiefungsprüfung nach Erichsen 256
 Topcoat 134
 Top Coats 194
 Topografie
 - spezielle 13
 Topologie 260
 Transparentchromatierung 194
 Transparenz 158
 Tribopulversprühsystem 173 f.
 Triborohr 174
 Trockenätzen 211, 226, 239
 Trockenätzverfahren 223
 Trockenresist 211, 215, 217
 Trockenverzinken 115
 Trocknung
 - chemische 162
 - oxidative 162
 - physikalische 161
 Trommeltechnik 87, 91

U

Überführungszahl 71
Überspannung 76
UD-Typ 78
Ultrafiltration 269
Ultraschall 36
Umkehrosiose 271f.
Umpolbeizen 48
Umweltschutz 274
Unterätzung 223
UV-Lithografie 214
UV-Spektroskopie 244
UV-Strahlung 248

V

Vakuumpulver 127
Verankerung, mechanische 29
Verbrennungsgas 126
Verdampfungsgeschwindigkeit 110
Verdünnungsgrad 55
Verdunstungszahl VZ 154
Verfahren
- chemisch-thermische 132
- coulometrisches 250
- elektromagnetisches 251
- magnetinduktives 251
- mechanische 39
- mikroskopisches 249
- spektroskopische 242
Verhalten
- anisotropes 20
- optisches 13
Verschleiß
- abrasiver 182
- adhäsiver 182
Verschleißverhalten 13
Verschleißwiderstand 59
Versetzung 17
Versiegelung 194, 205
Verzinken 115
VOC (volatile organic compounds) 155
Volumendiffusion 109
Vorbehandlung 30

W

Wachse 35
Wachstumstyp 78
Walzplattieren 129f.
Wanderungsgeschwindigkeit 70
Wasserhaut
- permanente 22
- temporäre 23
Wasserlacke 155f., 274
Wasserstoffversprödung 134
Wasserstoffüberspannung 77
Watts-Typ 64
Wave Length Dispersive X-Ray-Analysis 242
WDX 242
Wechselwirkung, interionische 71
Weichsegment 104
Weißblech 123
Weißrost 120
Wellenzahl 246
Wirbelbadverfahren, elektrostatisches 175
Wirbelbett 172
Wirbelpulver 173
Wirbelsintern 172
Wirbelstromverfahren 251
Wirksubstanz 219, 230

X

Xenon-Test 248

Z

Zementation 69, 270
Zentrifugation 269
Zerstäubergase 125
Zinkasche 115
Zinkdruckguss 54
Zinkkrätze 115
Zink-Lamellenabscheidung 133, 194
Z-Typ 78
Zweikomponentensystem 162
Zwischengitteratom 17