

Galvanisiergerechtes Konstruieren

Von M. Gugau, F. W. Hirth, H. Kleinz und H. Speckhardt

Grafenstraße 2
D-64283 Darmstadt

1 Einleitung

Galvanotechnische Verfahren werden angewendet, um metallische Oberzüge mit definierten Eigenschaften auf nahezu allen technisch bedeutsamen Werkstoffen abzuscheiden. Auf diese Weise wird ein Stoffverbund hergestellt, bei dem folgende Aufgabenteilung vorliegt:

- Der Grundwerkstoff liefert Form, Festigkeit und Steifigkeit des Bauteils
- Der Oberzug übernimmt die Erfüllung der Anforderungen an die Bauteil - Oberfläche.

Die heute ausgereiften elektrochemischen Beschichtungsverfahren (Tabelle 1) stellen die Erzeugung von metallischen Oberzügen mit vorher festgelegten Eigenschaften sicher.

Allerdings bestehen enge Wechselbeziehungen zwischen dem Grundwerkstoff, dessen Oberflächengeometrie und der geometrischen Form des Bauteils und der Struktur sowie dem Eigenschaftsprofil des Oberzugs, die sich durch die Möglichkeiten der Galvanotechnik nicht oder nur unwesentlich beeinflussen lassen. Deshalb ist es Aufgabe des Konstrukteurs, die Besonderheiten der Galvanotechnik chemisch-physikalischen Gesetzen gehorchend - in seinem Aufgabengebiet **fertigungsgerechtes Konstruieren** mit zu berücksichtigen. Da die metallischen Oberzüge auch die Bauteileigenschaften beeinflussen können, müssen die Auswirkungen des Galvanisierens zusätzlich auch im Hinblick auf die Erfüllung der Kriterien des **beanspruchungsgerechten** und **werkstoffgerechten Konstruierens** beachtet werden. Schließlich ist noch die Forderung nach **prüfgerechtem Konstruieren** zu erheben, denn gerade bei Bauteilen, deren Oberflächeneigenschaften durch einen Oberzug gewährleistet werden müssen, ist

die Überprüfung z.B. der Schichtdicke und der Porenfreiheit - auch der Härte - an für die Funktion wesentlichen Flächen im Rahmen der Qualitätssicherung notwendig.

Tabelle 1: Zusammenstellung einiger galvanotechnischer Beschichtungsverfahren

A. mit Außenstrom

- Cadmium
- Gold und Goldlegierungen (z.B. AuCo)
- Hartchrom
- Kupfer und Kupferlegierungen (z.B. CuSn, CuZn)
- Nickel und Nickellegierungen (z.B. NiZn)
- Silber und Silberlegierungen (z.B. AgPb, AgCd)
- Zink
- Zinn und Zinnlegierungen (z.B. SnPb, SnZn)

B. ohne Außenstrom - mit Reduktionsmittel

- Nickel-Phosphor-Legierungsüberzüge
- Nickel-Phosphor-Kupfer-Legierungsüberzüge
- Kupferüberzüge

Nachstehend werden allgemein und an Beispielen vertieft Hinweise für den Konstrukteur gegeben, der galvanisch abgeschiedene Überzüge zur Problemlösung heranziehen und somit die Vorteile der Galvanotechnik zur Erzielung bestimmter Bauteileigenschaften nutzen möchte.

2 Für das Konstruieren wichtige Grundlagen der Galvanotechnik

Die Galvanotechnik umfasst alle Verfahren zur elektrochemischen Abscheidung von metallischen Überzügen auf metallischen und nichtmetallischen Grundwerkstoffen. Die Elektrokristallisation findet dabei in zunächst wässrigen Metallsalzlösungen statt,

und zwar entweder unter Zuhilfenahme einer äußeren Spannungsquelle (Gleichrichter, Pulsgenerator) oder - außenstromlos - durch Reaktion der Metallionen mit einem Reduktionsmittel. Im ersteren Fall wird das Werkstück als Kathode geschaltet; zwischen seiner Oberfläche und der als Gegenelektrode fungierenden Anode bildet sich ein räumliches elektrisches Feld aus; die Feldliniendichte ist - den physikalischen Gesetzen folgend - an Ecken und Kanten sowie allen der Anodenfläche näher liegenden Oberflächenbereichen erhöht. Im Falle einer außenstromlosen Reduktionsabscheidung findet die Beschichtung überall dort auf der Grundwerkstoffoberfläche völlig gleichmäßig statt, wo die Reaktionspartner ungehindert miteinander reagieren können.

Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Keimbildung auf der Grundwerkstoffoberfläche sind rückstandsfreie

Sauberkeit und ausreichende Reaktionsfähigkeit erforderlich. Hierfür sorgt die jedem Galvanisierprozeß vorausgehende chemische oder zum Teil auch elektrochemische Vorbehandlung mit Entfetten, Beizen, Dekapieren und Zwischenspülen.

Gegebenenfalls werden auch ergänzend oder ausschließlich - mechanische Verfahren (z.B. Rommeln und Strahlen) angewendet. Die Vorbehandlung muß in der Regel auf den Grundwerkstoff, besonders z.B. (bei Metallen) auf seine Legierungselemente nach Art und Menge, abgestimmt sein. Bei sachgemäßer Vorbehandlung wird in der Regel auch eine gute Haftfestigkeit gewährleistet.

Bei der Serienfertigung ist im allgemeinen der Fertigungsablauf vor dem Galvanisieren bekannt. Es muß dafür Sorge getragen werden, daß auch bei der Einzelfertigung der festgeschriebene Fertigungsablauf dem Galvaniseur offengelegt wird.

Bei einem Teil der galvanisch abgeschiedenen Metallüberzüge, z.B. bei Zink und Cadmium, wird durch eine meist chemische Nachbehandlung (Chromatieren, Chromatieren + Versiegeln) eine Erhöhung des Korrosionsschutzwertes bewirkt.

Außenstromlos abgeschiedene Nickelüberzüge werden häufig thermisch nachbehandelt (1 bis 8 h bei 300 bis 450 °C), um die Struktur zu verändern, wodurch auch Härte, Korrosionsbeständigkeit, Verschleißwiderstand und elektrische/magnetische Eigenschaften beeinflußt werden; gleichzeitig wird die Haftfestigkeit verbessert. Bei hochfesten Sicherheitsteilen aus Vergütungsstählen wird oftmals eine thermische Nachbehandlung zur Vermeidung von wasserstoffinduziertem verzögertem Sprödbruch vorgenommen (1 bis 24 h bei 190 bis 220 °C).

Je nach Form, Größe (Volumen, Stückgewicht), Handhabbarkeit und Zahl der zu galvanisierenden Produkte unterscheidet der Galvaniseur in:

- Massenteile (in großer Zahl anfallende Kleinteile wie elektrische Kontakte, Schrauben, Muttern, Hülsen, Beschläge) mit relativ geringen Abmessungen und Stückgewichten; sie werden vorwiegend in sich langsam drehenden Trommeln vorbehandelt, galvanisiert und gegebenenfalls chemisch bzw. elektrochemisch nachbehandelt.
- Gestellware als Sammelbegriff für solche Teile, die sich wegen ihrer Gestalt und Abmessungen, wegen ihres Gewichtes und/oder wegen der Gefahr einer Oberflächenverletzung nicht zur sogenannten Massengalvanisierung eignen, sondern an auf die Ware abgestimmten Aufhänge- oder Aufsteckvorrichtungen (Gestellen) angeordnet und kontaktiert werden müssen.
- Großteile mit Stückgewichten bis zu mehreren Tonnen; sie müssen wegen ihrer Abmessungen und/oder wegen ihrer Masse einzeln und für sich getrennt aufgehängt und kontaktiert werden.

3 Forderungen der Galvanotechnik, abgeleitet aus den Verfahrensgrundlagen

Aus Sicht der Galvanotechnik sind vom Bauteil bzw. seiner Oberfläche folgende Kriterien zu erfüllen:

- Freie Zugänglichkeit für Schleif- und Strahlmittel zu allen zu galvanisierenden Oberflächenbereichen, damit gleichmäßige Reinigung und Aktivierung gewährleistet sind.
- Reste der Schleif- und Strahlmittel dürfen sich nicht in der Werkstückoberfläche verklemmen, damit eine rückstandsfreie Reinigung möglich ist.
- Alle Behandlungslösungen müssen ständig die gesamte zu galvanisierende Oberfläche benetzen und sich dort ungehindert austauschen können, damit zu jedem Zeitpunkt der Oberflächenbehandlung die jeweils erforderlichen Reaktionen optimal ablaufen können (z.B. Antransport frischer, reaktionsfähiger Ionen, Abtransport verbrauchter Lösung).
- Beim Spülen zwischen zwei Behandlungsschritten und zum Abschluß der Behandlung vor dem Trocknen müssen alle Behandlungslösungen rückstandsfrei von der Bauteiloberfläche entfernt werden können, damit nicht eine Verunreinigung der nachfolgenden Elektrolytlösung, ein Einschließen von Lösungsresten oder ein Antrocknen von Elektrolytrückständen auf der galvanisierten Oberfläche erfolgt.
- Beim Arbeiten mit Außenstrom muß die erforderliche Stromdichte (bei der Vorbehandlung und besonders beim Galvanisieren) auf der Bauteiloberfläche eingestellt werden können. Außerdem muß es möglich sein, die gesamte zu galvanisierende Oberfläche mit etwa der gleichen Feldliniendichte (mit nur

geringen Toleranzen) zu beaufschlagen, um eine gleichmäßige Struktur, Zusammensetzung und Dicke der Oberzüge zu erzielen.

- Die Elektrokristallisation muß auf der gesamten zu galvanisierenden Oberfläche möglichst gleichmäßig und ungehindert ablaufen können, damit sich nicht Poren und/oder Wachstumsgrenzen im Überzug ausbilden, die dessen Struktur und Homogenität örtlich beeinträchtigen.

4 Folgerungen für den Konstrukteur

Aus den vorerwähnten Sachverhalten sind zwangsläufige Folgerungen für die Gestaltung von Konstruktionsdetails abzuleiten, die vom Konstrukteur beachtet werden müssen, um eine einwandfreie galvanotechnische Fertigung - auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen - sicherzustellen. Das bedeutet, daß nicht nur die Voraussetzungen für eine Erfüllung der physikalischen und elektrochemischen Gesetzmäßigkeiten beim Galvanisieren geschaffen werden müssen, sondern daß dies vom Galvaniseur auch mit möglichst wirtschaftlichen Mitteln realisiert werden kann. Hierzu gehört beispielsweise, daß er mit möglichst unkomplizierten Gestellen sowie - beim Arbeiten mit Außenstrom - weitgehend ohne Blenden und Hilfsanoden auskommt, daß die Lage der Bauteile in den Behandlungslösungen nicht ständig verändert werden muß um die Ausbildung von luft-, dampf- oder gasgefüllten Hohlräumen zu vermeiden und daß nicht Elektrolytlösung in die Spülbäder verschleppt wird, was erhebliche Kosten verursachen kann (Verlust von Elektrolytlösung, Entsorgung des Spülwassers, Anfall von Schlamm als Sondermüll).

Zunächst sollen die wesentlichen Gesichtspunkte als Grundlagen für eine galvanisiergerechte Konstruktion zusammengestellt werden. Sie lassen sich unterteilen in allgemeingültige und solche, die spezifisch für Massenteile, Gestellware und Großteile bedeutsam sind.

Außerdem werden Hilfen genannt, die der Konstrukteur dem Galvaniseur z.B. auf dem Datenträger Zeichnung übermitteln sollte, zur Arbeitserleichterung und vor allem zur Qualitätssicherung und zur Vermeidung von Beanstandungen aufgrund von Mißverständnissen.

4.1 Allgemeingültige Kriterien für eine galvanisiergerechte Konstruktion

Unter galvanisiergerechtem Konstruieren ist das Gestalten, Dimensionieren und Bemessen von Werkstücken zu verstehen, abgestimmt auf die Erfordernisse des

anzuwendenden galvanotechnischen Verfahrens einschließlich aller erforderlichen Vor- und Nachbehandlungen, und zwar unter Berücksichtigung der Punkte:

- * Funktionalität durch Erreichen des geforderten Eigenschaftsprofils für den bestimmungsgemäßen Gebrauch
- * Gewährleistung der Einhaltung geforderter Qualitätsmerkmale
- * Sicherstellung der geforderten Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- * Qualitätsorientierte Wirtschaftlichkeit der Fertigung.

Ganz allgemein lassen sich somit folgende Kriterien formulieren:

Galvanisieren bedeutet Werkstoffauftrag. Die Bauteile werden also auf Maß gebracht (Maßgalvanisierung) oder, bei dickeren Überzügen und besonderen Anforderungen an die Oberflächenrauheit, auf Maß geschliffen und/oder poliert. Der Konstrukteur muß dies bei der Bemessung berücksichtigen und in die Zeichnung übertragen.

Grundlagen hierfür sind DIN 50 960 Teil 1 und Teil 2 sowie, für mechanische Verbindungselemente, DIN 267 Teil 9 mit DIN 13 Teil 14 und Teil 15 sowie [1].

Außerdem muß er in der Zeichnung oder in den Bestellangaben die wesentlichen Flächen (Funktionsflächen) nach DIN 50 982 Teil 1 kennzeichnen bzw. benennen, und zwar in Verbindung mit den an diesen Flächen von ihm geforderten Qualitätsmerkmalen. Es versteht sich von selbst, daß die wesentlichen Flächen, so sie galvanisiert werden sollen, einer optimalen Oberflächenbehandlung zugänglich sein müssen.

Alle Oberflächenbereiche, die nach dem Galvanisieren noch mechanisch bearbeitet werden sollen, müssen dieser Bearbeitung zugänglich sein. + Auch mit sehr dünnen Schichten lassen sich oftmals (z.B. in der Elektrotechnik) die erforderlichen Funktionen erreichen. Treten aber gleichzeitig hohe örtliche Flächenpressungen auf, dann muß der Überzug eine ausreichende Eigenfestigkeit - in Verbindung mit seiner Dicke - aufweisen, um nicht in die weichere Grundwerkstoffoberfläche eingedrückt zu werden. Auch ein vorgegebener Korrosionsschutzwert macht bestimmte (verfahrensabhängige) Schichtdicken erforderlich, was wiederum bei der Bemessung berücksichtigt werden muß.

Eine glatte und fehlerstellenfreie Grundwerkstoffoberfläche ist Voraussetzung für die Ausbildung eines homogenen Oberzugs (Tabelle 2). Für technisch hochwertige Bauteile ist daher eine Rauheit (DIN 4768 Teil 1) von $R_{\max} \leq 3 \text{ pm}$ (vorzugsweise 1 pm) zu fordern; bezüglich Teilen aus Stahlband und -blech wird auf DIN 1624 verwiesen.

Wird diese Bedingung nicht eingehalten, muß mit Strukturstörungen in der Schicht (Poren, Wachstumsgrenzen) gerechnet werden. Hierauf basierende Schäden sind z.B. in [2,3] dargestellt. Werkstoffoberflächen hoher Rauheit bergen außerdem die Gefahr in sich, daß in den Vorbehandlungslösungen unlösliche Rückstände von z.B. Strahl-, Schleif- oder Poliermitteln in Rauheitstälern verbleiben.

- Die Größe der zu galvanisierenden Oberfläche eines Bauteils muß in der Zeichnung angegeben werden.
- Bei der Metallabscheidung mit Außenstrom besteht die Gefahr eines verstärkten Schichtaufbaus an Ecken und Kanten, profilierte Teile sind also nur schwierig mit einer gleichmäßigen Schichtdicke zu versehen; es besteht die Gefahr der Maßüberschreitung an exportierten Stellen, die der Maßunterschreitung bis zur Schichtdicke Null an Stellen, die von den Feldlinien kaum oder nicht erreicht werden können. Außerdem kann unterschiedliche Feldliniendichte zu örtlich sehr unterschiedlichen Strukturen und Eigenschaften des Oberzugs führen.
- Hinterschneidungen und enge Spalte (kleiner 2 mm Spaltöffnung) müssen vermieden werden.
- Kleine Übergangsradien an Hohlkehlen, Nuten und Querschnittsübergängen sind zu vermeiden.
- Nur einseitig offene Hohlräume (z.B. Kanäle der Sacklochbohrungen) müssen einen Mindestdurchmesser von 3 mm besitzen. Können sie nicht so angeordnet werden, daß eine Entlüftung während der Oberflächenbehandlung erfolgen kann, müssen Entlüftungsbohrungen vorgesehen werden.
- Sogenannte schöpfende Teile, bei bzw. aus denen die jeweilige Behandlungslösung nicht völlig abtropfen kann, müssen an geeigneten Stellen mit Entleerungsbohrungen versehen sein (mindestens 2 mm Schlitzbreite oder 3 mm Durchmesser).
- Lötverbindungen lassen sich in der Regel nur mit erhöhtem Aufwand galvanisieren. Auf DIN 8514 Teil 1 wird hingewiesen. Das verwendete Lot muß in der Zeichnung oder in den Bestellunterlagen angegeben werden. Außerdem muß in der Zeichnung oder in den Arbeitsunterlagen für die Fertigung vorgeschrieben werden, daß vor dem Löten alle Ziehfette und dergleichen rückstandsfrei von der Werkstückoberfläche entfernt werden und daß das Bauteil unmittelbar nach dem Löten (besonders bei Verwendung von Borax als Flußmittel zur Oxidbeseitigung) durch Tauchen in etwa 40%iger wäßriger Sodalösung von 120 °C von Flußmittelresten gereinigt wird.
- Schweißverbindungen müssen so gestaltet sein, daß die gesamte Schweißnaht und die Wärmeeinflußzone vor dem Galvanisieren

nachgearbeitet werden können (Entfernen von Schlacke, Zunder und Anlauffarben, Glätten), wenn auch diese Flächen galvanisiert werden sollen.

- Bei Löt- und Schweißverbindungen muß darauf geachtet werden, daß nicht Konstruktionen entworfen werden, bei denen wegen ausgeprägter "Schattenwirkung" (Abdecken der Feldlinien durch vorgelagerte Teile) ein Galvanisieren mit Außenstrom nahezu unmöglich wird.
- Die Verwendung artfremder Werkstoffe in ein und demselben zu galvanisierenden Bauteil (sogenannte Schwarz-Weiß-Verbindung) sollte vermieden werden; (z.B. Probleme bei der Vorbehandlung).
- Miteinander zu vernietende Teile müssen vor Herstellung der Nietverbindung galvanisiert werden. Gleiches gilt für Schraub- und Schraubenverbindungen.
- Rohre und andere Hohlprofile, die nur außen galvanisiert werden sollen, müssen an den Öffnungen sicher abgedichtet werden können; nach innen offene Spalte, z.B. bei Bördelungen, müssen vermieden werden.
- Das Umformen von Teilen nach dem Galvanisieren ist nur bei ausreichend duktilen Oberzügen (Matt-Zink, Cadmium, Kupfer, Messing, Bronze, weiches Nickel und Nickel-Zink) zulässig; andernfalls kann Rißbildung im Überzug zur Abnahme des Korrosionsschutzwertes und zur Kerbversprödung des Bauteils (z.B. Absenkung der Dauerfestigkeit) führen.

Tabelle 2: Grundwerkstoffbedingte Rückwirkungen auf die Oberzugs- und Bauteileigenschaften

Grundwerkstoff- bzw. Oberflächenfehler	Rückwirkung auf das galvanisierte Bauteil und/oder den Überzug
Risse, Porenester, Doppelungen, Einfallstellen, Wirbelungen und Lunker in der Grundwerkstoffoberfläche	Auftreten von Poren, Rissen und Pusteln im Überzug. Blasenbildung im oberflächennahen Bereich des Grundwerkstoffs. Unterkorrosion des Grundwerkstoffs durch Elektrolytreste. Abplatzen des Überzugs.
Fremdstoffeinschlüsse in der Grundwerkstoffoberfläche	Poren und Pustelbildung im Überzug. Haftfestigkeitseinbußen infolge Brückenbildung. Unterkorrosion Beizgrübchen
Stahlzusammensetzung	Aktivierbarkeit Anzahl der Kristallisationskeime Anpassung der Gitter von Überzug und Grundwerkstoff. Eigenspannungen im Überzug
Reinheitsgrad des Grundwerkstoffs (Bereich der Oberfläche)	Poren und Wachstumsstörungen im Überzug. Pusteln im Überzug Haftfestigkeit

Wärmebehandlungszustand des Grundwerkstoffs (Einfluß unsachgemäßer Bearbeitungen)	Aktivierbarkeit Verteilung der Kristallisationskeime auf der Grundwerkstoffoberfläche
Eigenspannungszustand	Gitterverzerrung im Überzug. Rückwirkungen auf die Dauerfestigkeit durch den Überzug
Oberflächenfeingestalt	Verteilung der Kristallisationskeime. Struktur des Überzugs (Wachstumsgrenzen) Poren-, Riß- und Pustelbildung im Überzug Ausbildung von Eigenspannungen im Überzug (Ermüdungsverhalten)

4.2 Spezifische Konstruktionskriterien für Massenteile

In großer Zahl zum Galvanisieren anfallende Kleinteile dürfen keineswegs als minderwertig - d.h. nicht mit spezifischen Qualitätsmerkmalen zu belegen angesehen werden. Vielmehr gehören hierzu beispielsweise Sicherheitsteile wie hochfeste Verbindungselemente oder hochwertige (im Hinblick auf ihre physikalischen Eigenschaften) Teile der Elektrotechnik und Elektronik. Folglich sind auch hier bestimmte Kriterien im Sinne einer galvanisiergerechten Konstruktion zu erfüllen:

- Massenteile sollten in der Trommel aufeinander abrollen können, um gleichmäßig beschichtet zu werden. Flache Werkstücke neigen zum "Kleben", d. h. sie werden durch Adhäsionskräfte nahezu untrennbar miteinander verbunden. Partiiell fehlerhafte Beschichtung ist die Folge. In gleicher Weise treten Fehler auf, wenn gebogene Teile sich ineinander verhaken. Durch konstruktive Hilfsmittel (z.B. Noppen und Sicken bei ebenen Flächen, Abstimmung von Öffnungen und Biegeradien bei gekrümmten Teilen) läßt sich beides weitgehend verhindern.
- Massenteile müssen so gestaltet und dimensioniert sein, daß sie sich nicht während der Behandlung in der Trommel - bzw. beim Befüllen und / oder Entleeren - verbiegen.

Für die Gestaltung kleinerer Blechteile, die beim Galvanisieren in der Trommel wegen der Gefahr des Klebens und Verbiegens Probleme bereiten könnten und daher besser auf Gestellen oder in Bandform (vor dem Stanzen) beschichtet werden sollten, gibt [4] interessante Hinweise.

4.3 Spezifische Konstruktionskriterien für Gestellware

Grundsätzlich wählt der Galvaniseur die für den jeweiligen Zweck benötigten Galvanisiergestelle nach Art und Größe selbst aus und bestimmt auch die Anordnung der Ware auf dem einzelnen Gestell. Dennoch kann der Konstrukteur ihn hierbei unterstützen, wenn erfolgreiche Kriterien beachtet:

Gestellteile müssen elektrisch kontaktiert werden (auch bei außenstromlos arbeitenden Galvanisierverfahren erfolgt die Vorbehandlung oftmals elektrochemisch). Die vom Konstrukteur aus Funktionsgründen zugelassenen Kontaktstellen (nicht wesentliche Flächen ohne oder nahezu ohne Beschichtung) müssen auf der Zeichnung vorgegeben werden. Gestellteile müssen an Gestellen angebracht und sicher positioniert werden können, so daß sie nicht aufschwimmen, unter ihrem Eigengewicht oder beim Handhaben der Gestelle verrutschen oder herunterfallen können. Bietet ein Bauteil nicht schon aufgrund seiner Form entsprechende Möglichkeiten zur sicheren Aufnahme, dann müssen z. B. Bohrungen an geeigneten Stellen vorgesehen werden.

+ Gestellteile sollen so gestaltet werden, daß sich bei der Oberflächenbehandlung mit Außenstrom eine möglichst gleichmäßige Feldlinienverteilung auf der Oberfläche - auch bei einfachem Gestellbau - ergibt. Es gilt hier das gleiche Prinzip wie bei der Auslegung von Stanzteilen zur Minimierung des Verschnitts.

+ Bei Rohren und anderen Hohlprofilen, die nur außen galvanisiert werden sollen, besteht die Gefahr, daß sie bei späterem Gebrauch von innen korrodieren. Daher sollte unter Beachtung der Regeln einer korrosionsschutzgerechten Konstruktion [5] ein gasdichter Verschuß vorgesehen werden, der in einfacher Weise nach dem Galvanisieren und Trocknen angebracht werden kann.

4.4 Spezifische Konstruktionskriterien für Großteile

Großteile, die meist als Einzelstücke oder in kleinen Chargen galvanisiert werden, stellen besondere Anforderungen an die Sorgfalt der Handhabung bei Lagerung, Transport und Beschichtung. Die in den einzelnen Galvanisierbetrieben zur Verfügung stehenden innerbetrieblichen Transporteinrichtungen, Bauhöhen der Hallen sowie Abmessungen und Volumina der Behandlungsbäder (gegebenenfalls auch Ofen zum Wasserstoff austreiben) sind naturgemäß begrenzt. Der Konstrukteur muß auch diese Randbedingungen berücksichtigen, um Größe und Gewicht eines einzelnen Bauteils entsprechend festzulegen, damit es noch galvanisierbar ist. Im einzelnen sind folgende Kriterien zu beachten:

Das Bauteilgewicht muß von der Aufhängevorrichtung im Galvanisierbetrieb aufgenommen werden können. Es muß in der Zeichnung angegeben werden. Entsprechende Aufhängehilfen müssen vorgegeben werden.

5 Wichtige Entscheidungskriterien für den Konstrukteur

5.1 Auswahl von Grundwerkstoff und Überzug

Grundsätzlich sollten für zu galvanisierende Bauteile nur geprüfte Werkstoffe verwendet werden. Der Umfang der Gütesicherung ist vom Konstrukteur (nicht von der Arbeitsvorbereitung) für den Grundwerkstoff gemäß DIN 50 049 festzulegen; die Gütesicherung für den Überzug sollte nach RAL-RG 660 erfolgen. Zur Prüfung der Überzugseigenschaften finden sich außerdem Angaben in DIN 50 961, DIN 50 965, DIN 50 966, DIN 50 967 und DIN 50 968 sowie - für mechanische Verbindungselemente - in DIN 267 Teil 9.

Der Konstrukteur wählt die Werkstoffe z. B. aufgrund einer vorausgegangenen Betriebsbeanspruchungsanalyse aus. Gleichzeitig muß er die Fertigungsverfahren zur Bauteilherstellung (einschließlich einer eventuellen Wärmebehandlung) festlegen. Wird eine galvanotechnische Oberflächenbehandlung vorgesehen, dann sind einige Regeln zu beachten, um auch diesen Teil der Fertigung in wirtschaftlicher und technisch-funktioneller Hinsicht zu optimieren:

- Der Grundwerkstoff sollte einen möglichst gleichmäßigen Aufbau (Struktur, Gefüge) aufweisen.
- Bei kristallinen Werkstoffen führt Feinkorn zu wesentlich gleichmäßigerer Schichtausbildung als Grobkorn.
- Induktionshärtung ist der Flammhärtung vorzuziehen.
- Ausgeprägte Korngrenzsäume (z.B. Korngrenzferrit und Korngrenzzementit bei Stahl, intermetallische Ausscheidungen bei aushärtbaren Legierungen) sollten vermieden werden (durch Abstimmung von Zusammensetzung und Wärmebehandlung), da sie zu Störungen in der Bekeimung und somit im Schichtaufbau führen (z.B. Poren oder Pusteln).
- Nichtmetallische Einschlüsse in metallischen Werkstoffen (Sulfide, Karbide, Nitride, Karbonitride, Oxide) führen ebenfalls zu Poren, Pusteln und Wachstumsgrenzen im Überzug, wenn sie an die Grundwerkstoffoberfläche heranreichen oder z.B. bei spangebender Fertigung örtlich freigelegt werden. Sie sind auch verantwortlich für das Auftreten von Ätzgrübchen während der Vorbehandlung.
- Seigerungen nahe der Oberfläche, wie sie beispielsweise bei schwefel- und/oder bleilegierten sogenannten Automatenstählen (und -messingen) vorliegen, können zur Blasenbildung infolge bei der Vorbehandlung eindiffundierenden Wasserstoffs führen.

- Oberwalzungen und Dopplungen können sowohl Blasenbildung (Wasserstoff) als auch Unterkorrosion (eingeschlossene Elektrolytreste) bewirken.
- Risse, Einfallstellen und Lunker führen zu gestörtem Aufbau des Überzugs (Poren, Risse) und begünstigen das Auftreten von Unterkorrosion, da die Grundwerkstoffoberfläche in diesen Bereichen nicht rückstandsfrei gereinigt werden kann. Es kann dem Galvaniseur zwar gelingen, derartige lokale Fehler zu überdecken (Brückenbildung des Überzugs), doch bricht der Überzug dort bei Auftreten einer Flächenpressung leicht ein oder er platzt mangels Haftfestigkeit ab. In diesem Zusammenhang wird auf DIN 50 961 Abschnitt 5.1 "Grundwerkstoff" verwiesen
- Bei Guß- und Druckgußteilen besteht die Gefahr der Porenbildung im Bereich großer Querschnittsübergänge. Werden sie bei nachgeschalteter spangebender Fertigung angeschnitten, dann führen sie zu Störungen im anschließend aufgetragenen Überzug sowie zur Unterkorrosion durch eingeschlossene Elektrolytreste.
- Die Festigkeit und Zähigkeit des Grundwerkstoffs muß auf den ausgewählten Überzug (besonders dessen Härte und Verformungsvermögen) abgestimmt sein, da die Gefahr einer Dauerfestigkeitsminderung und generell einer Kerbversprödung des galvanisierten Bauteils durch harte, spröde Überzüge besteht. Entsprechende Vorversuche mit dynamischer Beanspruchung (Aufnahme von Wöhlerkurven, Betriebsfestigkeitsversuche) an Musterteilen sind angebracht.
- Bei Vergütungsstählen ist darauf zu achten, daß sie nicht auf höchste Festigkeit wärmebehandelt werden, sondern eine ausreichende Zähigkeitsreserve (Streckgrenzenverhältnis) erhalten bleibt, damit nicht - besonders bei der Vorbehandlung - die Gefahr einer wasserstoffinduzierten Versprödung gegeben ist [6].
- Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Grundwerkstoff und Überzugswerkstoff sollten nicht zu stark voneinander abweichen (s. Abschnitt 5.3 und 5.4).

Die Auswahl der Überzugswerkstoffe sollte gemeinsam mit dem Galvaniseur erfolgen, da nicht nur die Anforderungen an die Oberfläche der galvanisierten Bauteile zu erfüllen sind, sondern auch die vielfältigen Wechselwirkungen (s. Abschnitt 5.4) zwischen Überzug und Grundwerkstoff sowie zwischen den einzelnen Überzugseigenschaften berücksichtigt werden müssen.

Hilfreich für die Überzugsauswahl sind DIN 50 961, DIN 50 965, DIN 50 966, DIN 50 967 und DIN 50 968 sowie - für mechanische Verbindungselemente DIN 267 Teil 9, wo auch die besonderen Erfordernisse für Bestellangaben aufgeführt sind.

Unterstützung bei der Herstellung fachlicher Kontakte zwischen Konstrukteur und Galvaniseur ist zu erhalten von der Gütegemeinschaft Galvanotechnik e. V.

5.2 Anforderungen an die Reinheit der Grundwerkstoffoberfläche Folgerungen für die Fertigung

Die Art der Bearbeitung wie auch die einzelnen Bearbeitungsschritte werden in der Regel von der Arbeitsvorbereitung festgelegt. Sollen die Bauteile anschließend galvanisiert werden, dann muß der Konstrukteur durch entsprechende Hinweise in der Zeichnung oder in den zugehörigen Arbeitsunterlagen dafür Sorge tragen, daß bei spannender und spanloser Bearbeitung nur solche Kühlschmierstoffe verwendet werden, die in einfacher Weise wieder mit wäßrigen Lösungen entfernt werden können. Weiterhin sollte er fordern, daß wärmezubehandelnde Teile vor dem Härten und nach dem Abschrecken - also vor einem nachgeschalteten Entspannen oder Anlassen - gewaschen werden, um die Bildung von Ölkohle zu vermeiden.

Rückstände von Schleif-, Polier- und Strahlmitteln auf oder in der Grundwerkstoffoberfläche sind oftmals die Ursache für fehlerhafte Oberzüge und mangelnde Haftfestigkeit. Die Werkzeugstoffe/Arbeitsstoffe müssen daher auf Grundwerkstoff und Bearbeitungsverfahren abgestimmt werden, da viele Bearbeitungsmängel erst beim Galvanisieren erkannt werden.

Die für den betreffenden Grundwerkstoff geeigneten Schleifscheiben und Schleifbedingungen werden gemeinhin - wie alle anderen Werkzeuge - von der Arbeitsvorbereitung festgelegt. Dennoch empfehlen sich Hinweise seitens des Konstrukteurs in den Arbeitsunterlagen bzw. in der Zeichnung auf folgende Punkte, die für das spätere Galvanisieren entscheidend sein können:

Die spangebende Fertigung muß stets mit scharfen Werkzeugen in Verbindung mit geringer Zustellung erfolgen. Läßt man, um eine geringere Rauheit zu erzielen, die Schleifscheibe mehrfach ohne Zustellung ausfeuern, so werden feinste Partikel in die Werkstückoberfläche eingedrückt.

- Die Zufuhr ausreichender Kühlwassermenge an den Ort der Spanentstehung muß gewährleistet sein.
- Silikon-, molybdän-, graphit- oder schwefelhaltige Kühlmittel müssen vermieden werden.
- Für das Strahlen dürfen nur Korund oder Glasperlen verwendet werden.

Werden die Werkstücke für Lagerung und Transport vor dem Galvanisieren mit einem temporären Korrosionsschutz versehen, so gilt für die Konservierung die bereits oben erhobene Forderung: sie darf nicht verharzen oder vercracken und muß in einfacher Weise mit wäßrigen Lösungen rückstandsfrei entfernbar sein (vergl. z.B. DIN 1623 Teil 1 und Teil 2 sowie DIN 1624, jeweils Abschnitt 9.2).

5.3 Dimensionierung

Die Dimensionierung wird üblicherweise vorgenommen aufgrund der Ergebnisse aus Beanspruchungsanalysen bzw. der geforderten Bauteileigenschaften. Sie muß neben den Kennwerten des Grundwerkstoffs (z.B. Zugfestigkeit, Streckgrenze, Härte, Zähigkeit) auch die für den betreffenden Beanspruchungsfall entscheidenden Eigenschaften des Überzugwerkstoffs berücksichtigen. Insbesondere spielt die elastische und plastische Verformbarkeit des Überzugs eine Rolle im Hinblick auf die Gefahr des Aufreißens und der daraus folgenden Kerbwirkung mit Formzahlen um 10.

Auch der Unterschied in den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Grundwerkstoff und Überzug muß - besonders bei Polymerwerkstoffen und keramischen sowie Sinterwerkstoffen - beachtet werden, damit nicht Verzug der Teile, Rißbildung im Überzug oder Lösen des Stoffverbundes Grundwerkstoff/Überzug durch Überschreiten der Haftfestigkeit eintritt. Hier kann das Abscheiden von Schichtsystemen mit duktiler Zwischenschicht zur Problemlösung führen.

Die Festlegung der Schichtdicke muß aufgrund der Betriebsanforderungen an Bauteil und Bauteiloberfläche erfolgen, und zwar unter Berücksichtigung der Rauheit der Grundwerkstoffoberfläche (höhere Rauheit bedingt im Regelfall höhere Schichtdicke, um Porenfreiheit sicherzustellen) und gegebenenfalls (bei höheren Flächenpressungen) der Härteunterschiede von Überzug und Grundwerkstoff. Für die Bemessung von innen hartzuverchromenden Rohren gilt Tabelle 3. Die gängigen Verchromungsverfahren erlauben an einfachen Werkstücken (z.B. Wellen, Büchsen und Platten) bis Schichtdicken von 30 µm ISO-Passungsqualitäten 7 bis 16 ohne Nachschleifen. Übergangs- oder Preßpassungen müssen bei verchromten Bauteilen vermieden werden. Im Regelfall genügt eine Paarung G7/f7, für höhere Ansprüche sind auch Paarungen J6/f7 (vorwiegend) oder K6/f7 möglich.

Tabelle 3: Zusammenhang zwischen
Rohrinnendurchmesser und
gleichbleibender Schichtdicke
galvanisierbarer Länge beim
Hartverchromen (Richtwerte)

Innendurchmesser in mm	maximale Länge in mm
------------------------	----------------------

30 - 50	500
50 - 70	1000
70 - 100	2000
> 100	4000

5.4 Wechselwirkungen zwischen Überzug und Grundwerkstoff

Zur Aufgabe des galvanisiergerechten Konstruierens gehört auch die Abstimmung von Überzug und Schichtdicke (einschließlich des Eigenspannungszustandes) auf Festigkeit, Härte, Zähigkeit und Kerbempfindlichkeit des Grundwerkstoffs.

Es ist dabei wichtig zu wissen, daß sich verschiedene Qualitätsmerkmale gegenseitig beeinflussen können, wie z.B. die Verknüpfung zwischen Härte, Festigkeit und Sprödigkeit bei einem Vergütungsstahl im hochfesten Zustand zeigt oder der Zusammenhang von Glätte, Glanz, Härte und Zugeigenspannungen sowie verringerter Korrosionsbeständigkeit bei bestimmten galvanisch abgeschiedenen Nickelüberzügen oder auch die Dauerfestigkeitsminderung kerbempfindlicher Grundwerkstoffe durch Oberzüge mit Zugeigenspannungen.

In [7 bis 13] werden Ergebnisse aus Grundlagenuntersuchungen - allerdings im Labormaßstab - sowie einige Erfahrungen aus der Praxis mitgeteilt, die Hinweise zur Lösung der angeschnittenen Problematik geben können. Im übrigen möge der Konstrukteur für den konkreten Anwendungsfall die Erfahrung des Galvaniseurs nutzen.

Reichen die Kenntnisse und Erfahrungen von Konstrukteur, Galvaniseur und Betreiber/Betriebsingenieur zur Problemlösung nicht aus, so ist - zu einem möglichst frühen Zeitpunkt (bei Erarbeitung der Anforderungsliste und ganz besonders in der Konzeptphase [14]) - die frankierende Durchführung betriebsnaher Versuche für eine Optimierung von Konstruktionsdetails, Werkstoffauswahl, Fertigungsparametern und galvanischer Behandlung im Hinblick auf die Erfüllung der vom Konstrukteur vorgegebenen Qualitätsmerkmale erforderlich. Von besonderer Bedeutung bei galvanisierten Kunststoffteilen sind die oftmals erheblichen Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten von polymerem Grundwerkstoff und metallischem Überzug. Hierdurch kann es nicht nur zu Bauteildeformationen kommen, sondern u.U. auch zum örtlichen oder völligen Abheben des Überzugs infolge mangelnder Haftfähigkeit. Zur Beurteilung der Festigkeit des Verbundes

Kunststoff/metallischer Überzug dient die Temperaturwechselprüfung nach DIN 53 496; ergänzende Hinweise, abgestimmt auf Kunststoffgruppen, Produktgruppen und Beanspruchungsstufen, finden sich in den Güte- und Prüfbestimmungen RAL-RG 660.

5.5 Möglichkeiten zur Prüfung von Überzugs- und Bauteileigenschaften

Die Gütesicherung nach RAL-RG 660 deckt die Überprüfung der Erfüllung standardisierter Anforderungen an den Korrosions- und/oder Verschleißschutz ab, und zwar nach Produktgruppen (z.B. Hydraulik, Kraftfahrzeugteile) und Beanspruchungsstufen geordnet. Sie gewährleistet die Einhaltung vorgegebener und durch Optimierung erzielter Überzugeigenschaften für die Gesamtdauer der betreffenden Produktion im Galvanisierbetrieb, wenn die vom Auftraggeber zu verantwortenden Voraussetzungen hierfür (Konstruktion, Grundwerkstoff, Grundwerkstoffoberfläche) dieselben bleiben.

Hinweise zur Überprüfung weiterer Qualitätsmerkmale, wie z.B. Schichtdicke, Härte oder Lötfähigkeit, können ebenfalls aus diesen Güte- und Prüfbestimmungen sowie aus [I 5] und [I 6] entnommen werden.

Läßt sich eine Bauteilprüfung im Betrieb oder eine betriebsnahe Prüfung von Bauteilen im Labor nicht durchführen, dann können folgende ergänzende Untersuchungen an Proben - aus gleichem Werkstoff und aus gleicher Fertigung stammend - zur Beschreibung des Eigenschaftsprofils von Überzug oder galvanisiertem Bauteil hilfreich sein:

Prüfung der Haftfähigkeit des Überzugs mit dem Ultraschallkoppelschwinger [17]. Es ist darauf hinzuweisen, daß die Haftfähigkeit bislang nur zerstörend geprüft werden kann.

Porenprüfung, und zwar 100 % einer Charge, wird bei hartverchromten oder außenstromlos vernickelten Teilen aus Stahl wie folgt durchgeführt und muß gegebenenfalls in der Zeichnung oder im Bestelltext vorgeschrieben werden: Eintauchen des Teiles für 2 h in eine Lösung aus 95 Volumenanteilen einer 1%igen wäßrigen NaCl-Lösung und fünf Volumenanteilen einer 35%igen H₂O₂-Lösung (Wasserstoffsuperoxid) bei Raumtemperatur. Poren und Risse werden durch Rotrost angezeigt.

Prüfung der Duktilität des Überzugs mit der Vierpunkt-Biegeprobe [I 8].

Ermittlung der Dauerfestigkeit galvanisierter Bauteile oder Proben bei schwingender Beanspruchung (DIN 50 100) im Zug-Druck-, Umlaufbiege(DIN 50 113) oder

Flachbiegeschwingversuch (DIN 50 142) an Luft und bei gleichzeitiger Korrosionsbeanspruchung (Schwingungsrißkorrosion).

Ermittlung des Überzugs- und Bauteilverhaltens bei chemischer (DIN 50 905 Teil 1-4, DIN 50 917 Teil 1 und Teil 2, DIN 50 920 Teil 1) und bei elektrochemischer (DIN 50 918, DIN 50 919) Beanspruchung. Für die Auswertung von Korrosionsprüfungen kann DIN 50 980 herangezogen werden. Ermittlung des Überzugsverhaltens bei tribologischer Beanspruchung (DIN 50 321, DIN 50 322, DIN 50 332).

Zur Überprüfung des Leistungsvermögens eines Galvanisierverfahrens im Hinblick auf gleichmäßige Ausbildung des Überzugs (ohne Poren, Risse, Wachstumsgrenzen, bei geringen Toleranzen in der Schichtdickenverteilung) an konstruktiven und fertigungstechnischen Problemstellen kann die am *Institut für Werkstoffkunde der TH Darmstadt* entwickelte Musterprobe dienen. Sie muß aus dem gleichen Werkstoff hergestellt werden wie die realen Bauteile, und zwar mit den gleichen Fertigungsverfahren unter gleichen Bedingungen. Auch das Galvanisieren muß unter Betriebsbedingungen (also nicht im Labor) erfolgen.

Literatur

1. W. Müller: Metallische Überzüge galvanisch mechanisch, thermisch; in Oberflächenbehandlung von Schrauben, Muttern und ähnlichen Teilen. Galvanotechnik 75 (1984) 3; ICS-Information des Informations-Centrums Schrauben, Postfach 240127, D-40090 Düsseldorf.
2. F.W. Hirth, H. Speckhardt und K. Stallmann: Schäden an galvanisierten Bauteilen. Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau/NWürtt. 1981; und 1. Ergänzungslieferung 1982.
3. K. H. Korten: Untersuchung des Systems von Grundwerkstoff und Überzug. Metalloberfläche 40 (1986) 12, 511-514.
4. P. Winkel: Werkstückform und Gestelltechnik - Beispiele aus der Praxis. Galvanotechnik 75 (1984) 7, 822-824.
5. Korrosionsschutzgerechte Konstruktion - Merkblätter zur Verhütung von Korrosion durch konstruktive und fertigungstechnische Maßnahmen. Herausgegeben im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Korrosion (AGK) von der Dechema, Theodor-Heuss-Allee 25, D-60486 Frankfurt/Main.

6. R. Landgrebe, K. H. Kloos und H. Speckhardt: Untersuchung zur wasserstoffinduzierten Rißbildung bei hochfesten Schrauben aus Vergütungsstählen infolge galvanischer Verzinkung. Oberfläche-Surface 28 (1987) 7, 8-13 und 8, 16-25.
7. H.-R. Kaiser: Möglichkeiten und Grenzen einer Hartverchromung. Galvanotechnik 56 (1964) 4, 201-214.
8. H. Wiegand und U.-H. Fürstenberg: Der Einfluß von elektrolytisch abgeschiedenen Nickelschichten auf die Dauerfestigkeit glatter und gekerbter Stahlproben. Metalloberfläche 22 (1968) 6, 161-169.
9. H. Wiegand und U.-H. Fürstenberg: Hartverchromung - Eigenschaften und Auswirkungen auf den Grundwerkstoff. Maschinenbau-Verlag GmbH, Frankfurt/Main 1968.
10. H. Speckhardt: Zur Bedeutung der funktionellen Galvanotechnik für den Ingenieur. Zeitschrift für Werkstofftechnik 6 (1975) 1, 1-6.
11. H. Hübner und A.E. Ostermann: Galvanische Verschleißschutzschichten im Verbrennungsmotorenbau Galvanotechnik 71 (1980) 3, 238-242.
12. K. Stallmann und H. Speckhardt: Schutz gegen korrosive und mechanisch-korrosive Beanspruchung durch metallische Oberzüge. VDI-Berichte Nr. 365, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1980, S. 135-148.
13. H. Spähn und H. Speckhardt: Funktionelle Galvanotechnik heute - Leistungsvermögen und Anwendungsgrenzen. Zeitschrift für Werkstofftechnik 12 (1981) 4, 110-126.
14. G. Pahl und W. Beitz: Konstruktionslehre, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg 1977.
15. Gütesicherung in der Galvanotechnik: Handbuch der Gütegemeinschaft Galvanotechnik e.V., Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau/Württ. 1987.
16. A. F. Bogenschütz und U. George: Prüfung galvanisch und stromlos erzeugter Oberzüge. Galvanotechnik 75 (1984) 1, 20-30.

17. K. Stallmann, F.W. Hirth und H. Speckhardt: Prüfung der Haftfestigkeit metallischer Überzüge mit dem Ultraschallkoppelschwinger. Zeitschrift für Werkstofftechnik 15 (1984) 7, 250-256.

18. K. Stallmann und H. Speckhardt: Aufbau und Eigenschaften von Nickel-Bor-Oberzügen. Forschungsbericht T 82-241 "Technologische Forschung und Entwicklung" des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Dezember 1982.

In den Ausführungen erwähnte DIN-Normen

DIN 13 Teil 14 - Metrisches ISO-Gewinde; Grundlagen des Toleranzsystems für Gewinde ab 1 mm Durchmesser

DIN 13 Teil 15 - Metrisches ISO-Gewinde; Grundabmaße und Toleranzen für Gewinde ab 1 mm Durchmesser

DIN 267 Teil 9 - Mechanische Verbindungselemente; Technische Lieferbedingungen, Teile mit galvanischen Oberzügen.

DIN 1623 Teil 1 - Flacherzeugnisse aus Stahl; Kaltgewalztes Band und Blech; Technische Lieferbedingungen; Weiche unlegierte Stähle zum Kaltumformen.

DIN 1623 Teil 2 - Flacherzeugnisse aus Stahl; Kaltgewalztes Band und Blech; Technische Lieferbedingungen; Allgemeine Baustähle.

DIN 1624 - Facherzeugnisse aus Stahl; Kaltgewalztes Band in Walzbreiten bis 650 mm aus weichen unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen.

DIN 4768 Teil 1-Ermittlung der Rauheitsmeßgrößen Ra, Rz, Rrnax mit elektrischen Tastschnittgeräten; Grundlagen

DIN 8514 Teil 1-Lötbarkeit; Begriffe

DIN 50 049 - Bescheinigungen über Materialprüfungen

DIN 50 049 Beiblatt 1 - Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen; Beispiele für die Gestaltung von Bescheinigungen.

DIN 50 100 - Werkstoffprüfung; Dauerschwingversuch, Begriffe

DIN 50 113 - Prüfung metallischer Werkstoffe; Umlaufbiegeversuch

DIN 50 142 - Prüfung metallischer Werkstoffe; Flachbiegeschwingversuch

DIN 50 321 - Verschleiß-Meßgrößen

DIN 50 322 - Verschleiß; Kategorien der Verschleißprüfung

DIN 50 332 - Stahlverschleiß-Prüfung

DIN 50 905 Teil 1 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen; Grundsätze

DIN 50 905 Teil 2 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen; Korrosionsgrößen bei gleichmäßiger Flächenkorrosion.

DIN 50 905 Teil 3 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen; Korrosionsgrößen bei ungleichmäßiger und örtlicher Korrosion ohne mechanische Belastung.

DIN 50 905 Teil 4 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen; Durchführung von chemischen

Korrosionsversuchen ohne mechanische Belastung in Flüssigkeiten im Laboratorium.

DIN 50 917 Teil 1 - Korrosion der Metalle; Naturversuche, Freibewitterung

DIN 50 917 Teil 2 - Korrosion der Metalle; Naturversuche, Naturversuche in Meerwasser

DIN 50 918 - Korrosion der Metalle; Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen

DIN 50 919 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen der Kontaktkorrosion in Elektrolytlösungen

DIN 50 920 Teil 1 - Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen in strömenden Flüssigkeiten; Allgemeines

DIN 50 960 Teil 1 - Galvanische und chemische Überzüge; Bezeichnung und Angaben in technischen Unterlagen

DIN 50 960 Teil 2 - Galvanische und chemische Überzüge; Zeichnungsangaben

DIN 50 961 - Galvanische Überzüge; Zink- und Cadmiumüberzüge auf Eisenwerkstoffen

DIN 965 - Galvanische Überzüge; Zinnüberzüge auf Eisen- und Kupferwerkstoffen

DIN 50 966 - Galvanische Überzüge; Autokatalytisch abgeschiedene Nickel-Phosphor-Überzüge für funktionelle Anwendungen

DIN 50 967 - Galvanische Überzüge; Nickel-Chrom-Überzüge auf Stahl, Kupfer- und Zinkwerkstoffen sowie Kupfer- Nickel- Chrom- Überzüge auf Stahl und Zinkwerkstoffen

DIN 50 968 - Galvanische Überzüge; Nickelüberzüge auf Stahl und Kupferwerkstoffen sowie Kupfer-Nickel- Überzüge auf Stahl

DIN 50 980 - Prüfung metallischer Überzüge; Auswertung von Korrosionsprüfungen

DIN 50 982 Teil 1 - Messung von Schichtdicken; Allgemeine Arbeitsgrundlagen, Begriffe über Schichtdicke und Oberflächenmeßbereiche

DIN 53 496 - Galvanische Überzüge; Prüfung von galvanisierten Kunststoffteilen, Temperaturwechselprüfung

Güte- und Prüfbestimmungen

RAL-RG 660 Galvanisierte Produkte; Gütesicherung