

Elektropolieren nichtrostender Stähle



Euro Inox

Euro Inox ist die europäische Marktförderungsorganisation für nichtrostende Stähle (auch als Edelstahl Rostfrei oder Inox-Stähle bezeichnet).

Die Mitglieder von Euro Inox umfassen

- europäische Produzenten nichtrostender Stähle,
- nationale Marktförderungsorganisationen für nichtrostende Stähle sowie
- Marktförderungsorganisationen der Legierungsmittelindustrie.

Ziel von Euro Inox ist es, bestehende Anwendungen für nichtrostende Stähle zu fördern und neue Anwendungen anzuregen. Planern und Anwendern sollen praxisnahe Informationen über die Eigenschaften der nichtrostenden Stähle und ihre sachgerechte Verarbeitung zugänglich gemacht werden. Zu diesem Zweck

- gibt Euro Inox Publikationen in gedruckter und elektronischer Form heraus,
- veranstaltet Tagungen und Seminare und
- initiiert oder unterstützt Vorhaben in den Bereichen anwendungstechnische Forschung sowie Marktforschung.

ISBN 978-2-87997-311-1

978-2-87997-310-4	Englische Fassung
978-2-87997-312-8	Finnische Fassung
978-2-87997-313-5	Französische Fassung
978-2-87997-314-2	Italienische Fassung
978-2-87997-315-9	Niederländische Fassung
978-2-87997-316-6	Polnische Fassung
978-2-87997-317-3	Spanische Fassung
978-2-87997-318-0	Schwedische Fassung
978-2-87997-319-7	Tschechische Fassung
978-2-87997-320-3	Türkische Fassung

Vollmitglieder:

Acerinox

www.acerinox.com

ArcelorMittal Stainless Belgium

ArcelorMittal Stainless France

www.arcelormittal.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Assoziierte Mitglieder

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOIA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

Elektropolieren nichtrostender Stähle
 Erste Ausgabe 2010
 Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 11
 © Euro Inox 2010

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Grundlagen	4
3. Verfahrensschritte	6
3.1 Vorbereitung der Metalloberfläche	7
3.2 Elektropolieren	7
3.3 Nachbehandlung	8
4. Elektropolieren im Vergleich zu anderen Oberflächenbehandlungstechniken	9
4.1 Mechanisches Polieren	9
4.2 Galvanisieren	10
5. Ausschreiben elektropoliertter Oberflächen	11
6. Typische Anwendungen	12
7. Glossar	15
8. Literatur	17

Herausgeber

Euro Inox
 Diamant Building, Bd. A. Reyers 80,
 1030 Brüssel, Belgien
 Tel. +32 2 706 82 67
 Fax +32 2 706 82 69
 E-mail info@euro-inox.org,
 Internet www.euro-inox.org

Autor

Alenka Kosmač, Brüssel (B)

Danksagung

Euro Inox dankt den Herren Siegfried Pießlinger-Schweiger, Poligrat (D) und John Swain, Anopol (UK) für ihre Beiträge und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Fotos

Titelseite: Packo Inox (B)

Urheberrechtlicher Hinweis

Vervielfältigungen jedweder Art sind, auch auszugsweise, sind nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungs- und Schadenersatzansprüche gegenüber Euro Inox, dessen Mitgliedern, Mitarbeitern und Beratern sowie anderen Projektbeteiligten können hieraus nicht abgeleitet werden.

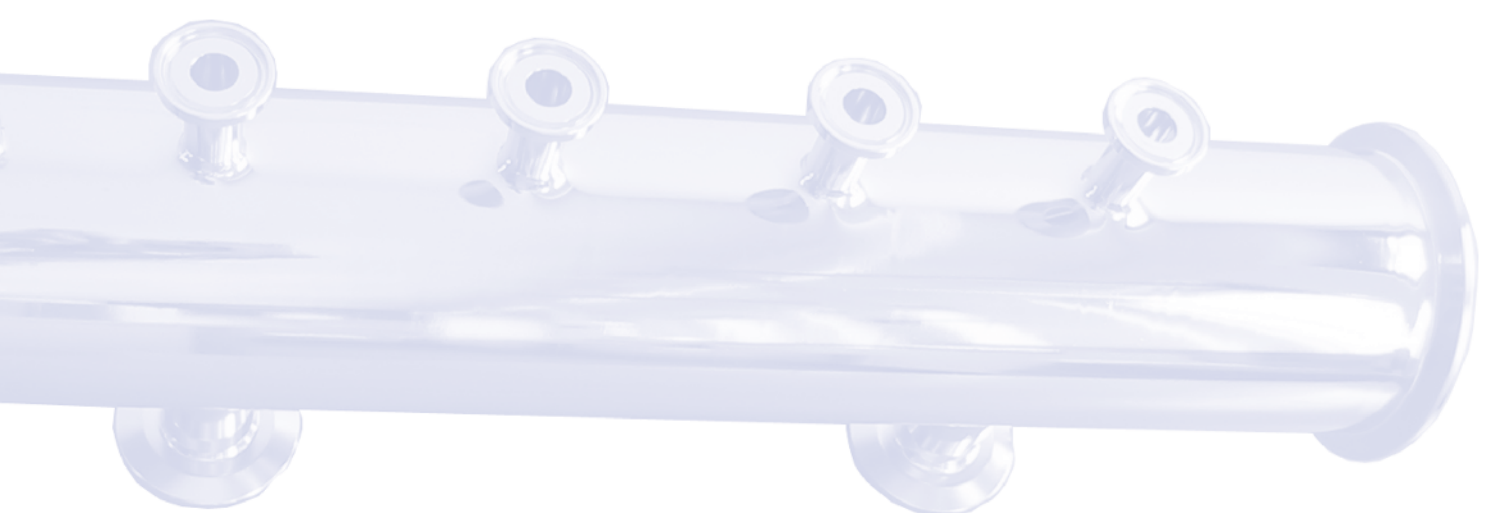
1 Einleitung

Das Elektropolieren ist ein elektrochemisches Oberflächenbehandlungsverfahren (siehe Kasten), beim dem Metallionen elektrolytisch von der Werkstoffoberfläche abgetragen werden [1]. Der primäre Zweck liegt darin, Mikrorauigkeit zu verringern. Dadurch vermindert sich die Gefahr, dass Schmutz oder Produktrückstände anhaften, maßgeblich. Die Reinigbarkeit wird verbessert. Das Elektropolieren wird auch zum Entgraten, Glänzen und Passivieren eingesetzt.

Das Verfahren sorgt für eine metallurgisch reine Oberfläche ohne Störstellen. Mögliche unerwünschte Nebenwirkungen, die bei der mechanischen Bearbeitung auftreten können – z.B. mechanische oder thermische Belastungen, das Eindringen von Partikeln

und eine Aufrauung der Oberfläche – werden vermieden oder sogar wieder aufgehoben. Die einer Werkstoffsorte innewohnende Korrosionsbeständigkeit wird vollständig ausgeschöpft. Daher ist das Elektropolieren in Branchen, in denen Korrosionsbeständigkeit und Reinigbarkeit von besonderer Bedeutung sind, ein Standardverfahren. Typische Anwendungen finden sich in der Pharmaindustrie, in der Biochemietechnik oder in der Lebensmittelverarbeitung.

Da vom Elektropolieren keine mechanischen, thermischen oder chemischen Belastungen ausgehen, können auch kleine und empfindliche Teile auf diese Weise behandelt werden. Das Elektropolieren eignet sich für Teile nahezu jeder Größe oder Form.



Chemische Oberflächenbehandlung: Was – wann – wofür?

Es gibt verschiedene Verfahren der chemischen Oberflächenbehandlung. Sie alle dienen letztlich dazu, eine metallisch reine Oberfläche zu erzielen. Auch wenn sich ihre Wirkungen überlappen, dienen sie jedoch jeweils deutlich unterschiedlichen Zwecken.

Beizen

Das Beizen entfernt Oxide, insbesondere Anlauffarben (im Schweißnahtbereich) oder andere Verfärbungen sowie Korrosionsprodukte. Es ergibt eine metallisch reine Oberfläche, welche die Voraussetzungen dafür schafft, dass die für nichtrostende Stähle charakteristische Selbstpassivierung stattfinden kann. Beizbäder enthalten zumeist Salpetersäure und Flusssäure. Die Behandlungsdauer hängt von der Badtemperatur und vom Grad der Oberflächenverunreinigung ab.

Passivieren

Nichtrostender Stahl passiviert normalerweise bei Anwesenheit von Sauerstoff aus Luft oder Wasser selbsttätig. Allerdings kann es einige Tage dauern, bis die Passivschicht ihre volle Dicke erreicht hat. Eine chemische Passivierungsbehandlung beschleunigt

die Entstehung der Passivschicht. Sie stellt sicher, dass sie sich schnell und unter kontrollierten Bedingungen vollständig ausbildet. Die Behandlung wird in verdünnter Salpetersäure vorgenommen, wobei die Behandlungsdauer zwischen 15 Minuten und einer Stunde variieren kann.

Fremdrostentfernung bzw. Säurereinigung

Hierbei werden Fremdeisenpartikel entfernt, die, wenn sie auf der Oberfläche verblieben, korrodieren würden. Diese können in Form von Schleifstaub, Abrieb oder Flugrost z.B. von Baustahlarbeiten in der Umgebung ausgehen¹.

Elektropolieren

Das Elektropolieren wird bei reinen metallischen Oberflächen angewandt. Es verringert die Mikrorauigkeit und hat gleichzeitig weitere günstige Wirkungen, die nachstehend beschrieben werden. Das Verfahren basiert auf der Elektrolyse, wobei ein Strom eine Lösung aus zumeist Schwefelsäure und Orthophosphorsäure durchfließt. Die Behandlungsdauer liegt üblicherweise zwischen 2 und 20 Minuten.

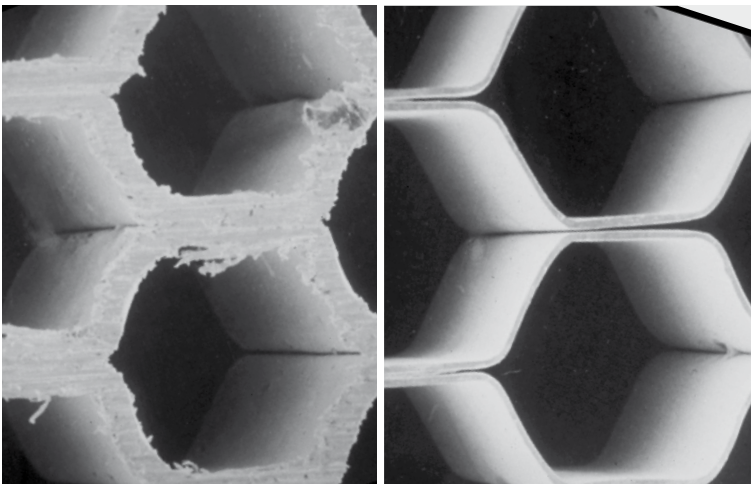
¹ Vgl. CROOKES, Roger, Beizen und Passivieren nichtrostender Stähle, Luxemburg: Euro Inox, 2. Auflage 2007 (Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 4), http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating_Pickling_DE.pdf

2 Grundlagen

Das Elektropolieren entfernt Metall von einer Oberfläche, indem ein elektrischer Strom an ein Werkstück angelegt wird, das in einen geeigneten Elektrolyten eingetaucht ist. Das Verfahren stellt eine Umkehrung des Galvanisierens dar, bei dem Metallionen aus einer Lösung an den Werkstoff angelagert werden. Beim Elektropolieren wird demgegenüber das Werkstück abgetragen und die Ionen gehen in die Lösung über.

Eine Elektropolieranlage ähnelt in ihrem Aufbau einer Galvanisiereinrichtung. Eine Stromquelle liefert Gleichstrom von geringer Spannung. Die Bäder befinden sich in Behältern, die aus Kunststoff bestehen oder mit Blei ausgekleidet sind. Mehrere Kathoden aus Blei, Kupfer oder nichtrostendem Stahl werden in das Bad eingetaucht und mit dem Minuspol der Stromquelle verbunden. Das Werkstück (bzw. die Werkstücke) wird (werden) an einem Korb befestigt, der aus Titan, Kupfer oder Bronze besteht und an den Pluspol der Stromquelle angeschlossen wird.

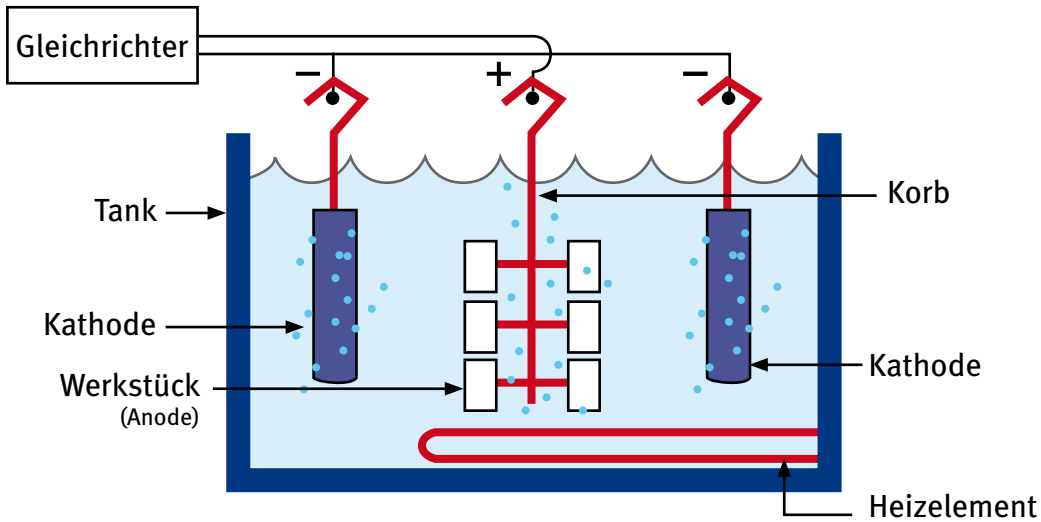
*Das Elektropolieren dient auch der Entgratung - speziell bei Teilen, die sich nur schwer mechanisch bearbeiten lassen.
Fotos: Poligrat, München (D)*



Das Werkstück ist an den Pluspol der Stromquelle angeschlossen (stellt also die Anode dar), während der Minuspol mit einer Elektrode (der Kathode) verbunden ist. Beide werden in den Elektrolyten eingetaucht. Wird Gleichstrom angelegt, entsteht ein geschlossener Stromkreis.

Wie aus der umseitigen Illustration ersichtlich, wird das positiv geladene (anodische) Werkstück in das Bad eingetaucht. Sobald Strom fließt, fungiert der Elektrolyt als Leiter und bewirkt, dass Metallionen vom Werkstück abgetragen werden. Die Ionen bewegen sich auf die Kathode zu; der größte Teil des gelösten Metalls verbleibt dabei in der Lösung. Teils werden die Ionen in Form von Schlamm auf den Kathoden abgelagert, die daher regelmäßig gereinigt werden müssen, um wirksam zu bleiben. Auf dem Werkstück wird Sauerstoff freigesetzt, der die Wirkung des Elektrolyten unterstützt.

Der Metallabtrag ist dem angelegten Strom, der Wirksamkeit des Elektrolyten und der Behandlungsdauer proportional. Beim Elektropolieren liegen an Graten und anderen vorstehenden Unregelmäßigkeiten erhöhte Stromstärken an, so dass diese bevorzugt abgetragen werden. Die Verfahrensparameter werden so eingestellt, dass die Abmessungstoleranzen eingehalten werden.



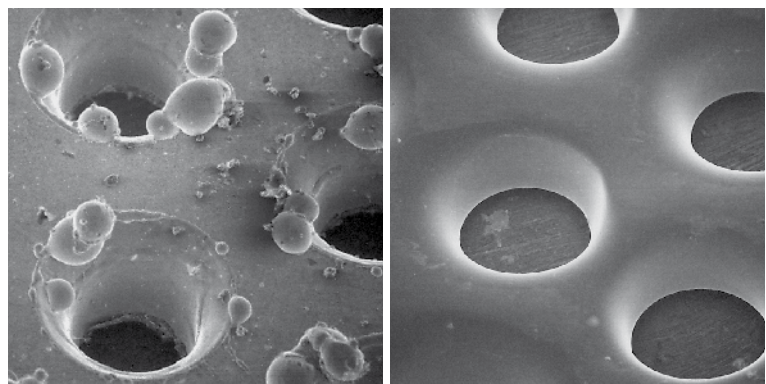
Im Falle des nichtrostenden Stahls ist zu beachten, dass die verschiedenen Legierungsbestandteile mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in Lösung gehen. Eisen- und Nickelatome lösen sich leichter aus dem Kristallgitter als Chromatome. Durch die bevorzugte Herauslösung von Eisen und Nickel entsteht eine chromreiche Oberfläche. Dieses Phänomen beschleunigt und verbessert die Passivierung elektropolierter Oberflächen [2].

Die Tatsache, dass das Elektropolieren ein verzugsfreies Verfahren ist, wird häufig nicht hinreichend gewürdigt. Die Werkstücke werden beim Elektropolieren weder mechanischen noch thermischen Belastungen

ausgesetzt, sie werden auch nicht umgewälzt und stoßen nicht aneinander [4].

Die Ergebnisse lassen sich mit hoher Genauigkeit reproduzieren, so dass auch Teile, die enge Toleranzen einhalten müssen, ergebnissicher behandelt werden können².

Mikroskopische Ansicht vor und nach dem Elektropolieren: das Verfahren führt zu einer metallisch reinen Oberfläche. Fotos: Poligrat, München (D)



² Bei sachgerechter Prozessführung und Arbeitsorganisation werden Sicherheitsrisiken ausgeräumt. Fachfirmen sind darauf eingestellt, eine ordnungsgemäße Abluftbehandlung vorzunehmen sowie Rest- und Abfallstoffe, etwa verbrauchte Säuren, ordnungsgemäß zu entsorgen.

3 Verfahrensschritte

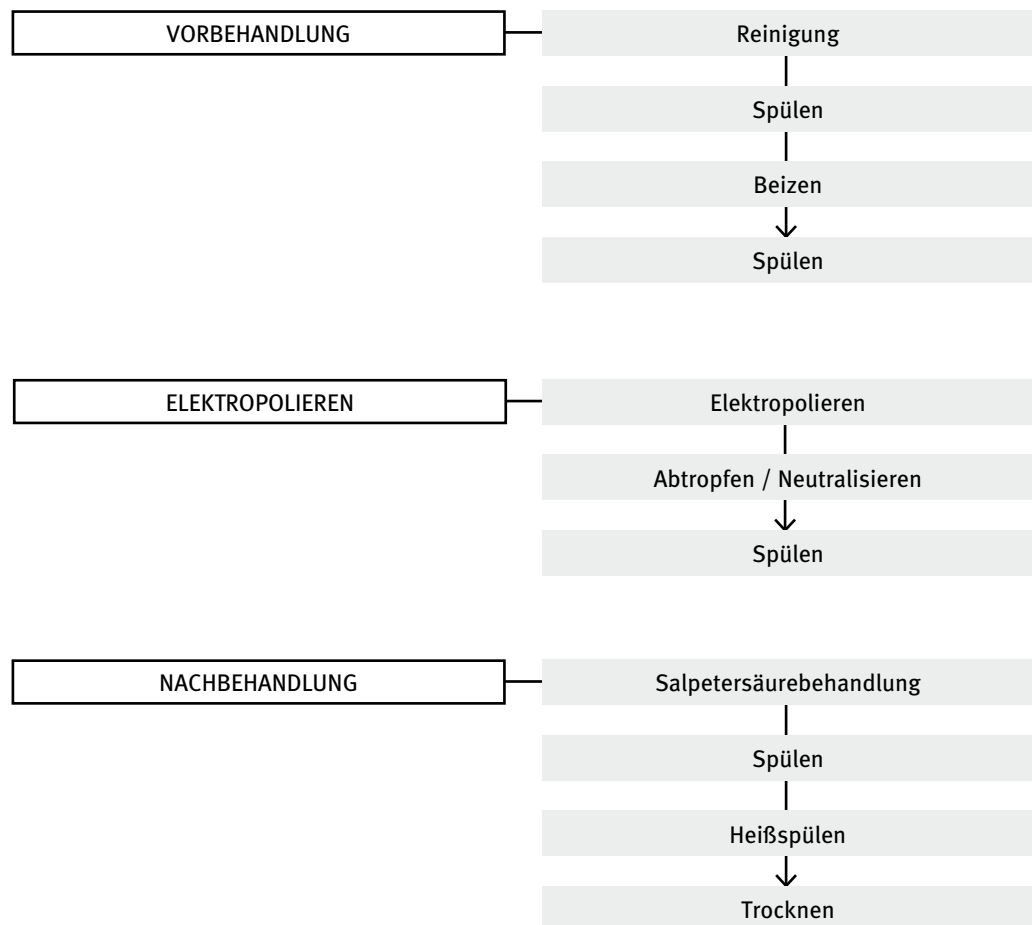
Um auf nichtrostendem Stahl bestmögliche Ergebnisqualität zu erzielen, muss die Behandlung in der Regel drei Schritte umfassen:

- Vorbereitung: Entfernung von Ölen, Fetten, Oxiden und anderen Verschmutzungen, die ein gleichmäßiges Elektropolieren behindern würden;
- Elektropolieren: Glätten, Glänzen und Entgraten des Werkstücks;

- Nachbehandlung: Entfernung von Resten des Elektrolyten sowie von Reaktionsprodukten, ferner Trocknung des Metalls zur Vermeidung von Flecken.

Jeder dieser Verfahrensschritte kann u.U. mehrere hintereinandergeschaltete Bäder erfordern, um das gewünschte Resultat zu erzielen.

Die nachstehende schematische Darstellung zeigt die Grundzüge des Ablaufs:



3.1 Vorbereitung der Metalloberfläche

Die Vorbereitung der Metalloberfläche umfasst zwei Schritte: Reinigung / Entfettung in einer alkalischen Lösung oder einem Lösemittel sowie anschließende Beizbehandlung, sofern – etwa im Schweißnahtbereich – Anlauffarben vorhanden sind.

Die Behandlung in alkalischen Lösungen bzw. Lösemitteln dient dem Ziel, jegliche Spuren von Öl, Fett, Fingerabdrücken oder anderen Schmierfilmen zu beseitigen, die nach der Verarbeitung darauf verblieben sind. Verschmutzungen würden ansonsten die Ergebnisqualität des Elektropolierens ungünstig beeinflussen, was insbesondere für kritische Anwendungen in der Medizin-, Pharma- und Halbleitertechnik inakzeptabel wäre. Nach diesem Bearbeitungsschritt sollten jede weitere Berührung und jeder weitere Kontakt mit Werkzeugen vermieden werden. Sauberkeit ist oberster Grundsatz jeder Oberflächenbehandlung. Fehler in diesem Bereich sind die häufigste Ursache für Reklamationen.

Eine Zwischenspülung verfolgt zwei Ziele: zum einen die Entfernung von Rückständen des vorigen Bades durch Verdünnung und zum anderen Vermeidung von Badverschleppung in den nächsten Prozessschritt.

Eine Säurereinigungs- bzw. Beizbehandlung entfernt leichte Oxidschichten, die z.B. bei der spanenden Bearbeitung entstanden sein können, sowie Reste von Alkalien aus dem anfänglichen Reinigungsprozess.

Der Spüldurchgang nach der Säurereinigung verfolgt im Grundsatz dieselben Ziele wie jener nach der alkalischen Reinigung. Allerdings lassen sich saure Lösungen in der Regel deutlich leichter durch Abspülen entfernen als alkalische Rückstände. Daher sind die Durchflussraten und / oder die Behandlungsdauer oft geringer.

3.2 Elektropolieren

Während des Elektropolierens wird Metall von der anodischen Elektrode gelöst und geht in Form eines löslichen Salzes in die Lösung über. Alle Legierungsbestandteile des nichtrostenden Stahls – Eisen, Chrom und Nickel – unterliegen dieser Reaktion gleichzeitig. Das Ergebnis ist eine kontrollierte Einebnung der Oberfläche. Gleichzeitig laufen verschiedene Nebenreaktionen ab. Sie lassen Reaktionsprodukte entstehen, die es im Interesse der Ergebnisqualität zu kontrollieren gilt.

Ein typisches Elektropolierbad besteht aus gleichen Volumenanteilen von 96-prozentiger Schwefelsäure und 85-prozentiger Orthophosphorsäure.

Qualifizierte Fachfirmen stellen sicher, dass die Umwelt- und Arbeitsschutzanforderungen eingehalten werden. Foto: Anopol, Birmingham (UK)



Die Prozessparameter:

- Stromstärke: 5 bis 25 A/dm²
- Temperatur: 40 bis 75 °C
- Behandlungsdauer: 2 bis 20 min
- Kathoden: nichtrostender Stahl, Kupfer oder Blei

Das Abschlussbad fängt die Chemikalien aus dem vorigen Prozessschritt auf. Elektrolyte für nichtrostenden Stahl erfordern im Regelfall eine Neutralisierung mit Ätznatron (Natriumhydroxid oder Kalkmilch), wobei vergleichsweise große Mengen von Niederschlägen anfallen. Qualifizierte Fachfirmen stellen sicher, dass dabei die Umwelt-, Arbeitsschutz- und Sicherheitsanforderungen eingehalten werden.

Beim Spülen ist zu beachten, dass die Elektropolier-Bäder dickflüssig sind und sich nur unwillig mit Wasser vermischen. Es ist darauf zu achten, dass keine Elektrolytreste auf den Werkstücken verbleiben und austrocknen, da sie während der Lagerung die Oberflächen anätzen und verflecken würden. Daher sollte eine Heißspülung, die das Trocknen beschleunigt, nur dann vorgenommen werden, wenn sichergestellt ist, dass alle Elektrolytreste vollständig abgewaschen wurden.

3.3 Nachbehandlung

Eine Nachbehandlung mit Salpetersäure entfernt die beim Elektropolieren entstehenden Reaktionsprodukte. Diese bestehen zumeist aus Schwermetallphosphaten und -sulfaten, die mit Wasser allein nur schwer abzuschwemmen sind. Sie zu entfernen, ist allerdings wichtig, damit die Oberfläche später bei Lagerung und Gebrauch gleichmäßig, korrosionsbeständig und hygienisch bleibt.

Reste von Salpetersäure wiederum lassen sich mit kaltem Wasser entfernen, da sie besser wasserlöslich sind als alkalische Rückstände.

Bei der Heißwasserbehandlung dürfen sich keine Chemikalienreste mehr auf der Oberfläche befinden, denn sie würden sich im Wasser anreichern. Zweck dieses Verfahrensschrittes ist es auch, die Temperatur des Metalls so weit zu erhöhen, dass es vor der Entnahme aus dem Korb spontan trocknet.

Manche Werkstücke trocknen nach der Heißwasserbehandlung nicht sofort vollständig ab. Trockenschleudern, Heißluftkammern und andere Trockengeräte können dazu dienen, die schnelle Verdunstung von Restfeuchtigkeit sicherzustellen und ein fleckenfreies Trockenresultat zu erzielen.

4 Elektropolieren im Vergleich zu anderen Oberflächenbehandlungstechniken

Obwohl sich elektropolierte, mechanisch polierte und galvanisierte Metalloberflächen auf den ersten Blick ähneln können, sind deren Einsatzbereiche und deren Funktionen grundsätzlich verschieden.

4.1 Mechanisches Polieren

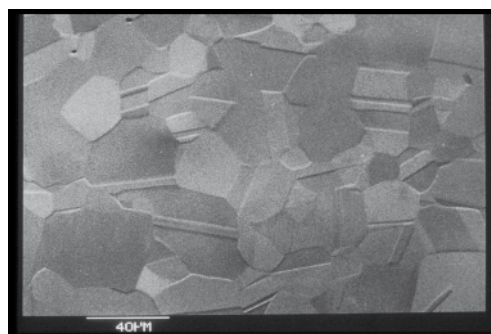
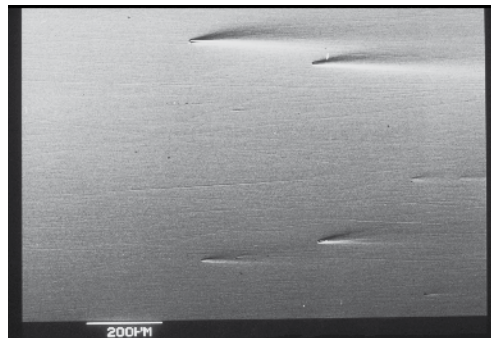
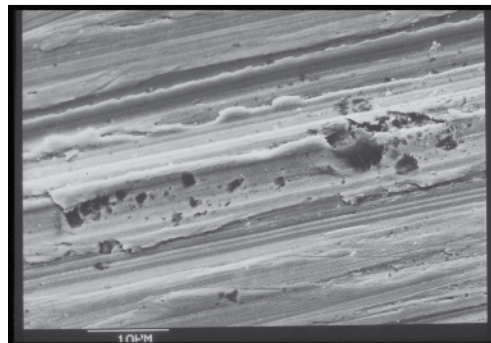
Mechanisches Schleifen und Polieren dient üblicherweise der Erzielung dekorativer Spiegelglanzoberflächen auf Endverbraucherprodukten und Architekturbauteilen. Diese Verfahren lassen sich sowohl unter Werkstatt- als auch unter Baustellenbedingungen³ ausführen und eignen sich auch für Reparaturzwecke.

Allerdings können sie auch Spannungen in die Oberfläche des Werkstoffs einbringen. Hierdurch verändern sich dessen metallurgische Eigenschaften u.U. ungünstig und vermindern deren Eignung für spezielle Anforderungen. Zudem ist mechanische Oberflächenbehandlung oft arbeitsintensiv.

Mechanisch polierte Metalloberflächen weisen mikroskopische Kratzer, Spannungen, Metallabtrag und Schleifmittelrückstände auf. Elektropolierte Oberflächen sind frei von derartigen Störstellen. Sie zeigen die ursprüngliche, unverfälschte Kristallstruktur des metallischen Werkstoffes – ohne jene Veränderungen, welche die beim Schleifen und Polieren stattfindende Kaltumformung unweigerlich mit sich bringt.

Der Unterschied zwischen mechanisch polierten und elektropolierten Werkstücken ist für

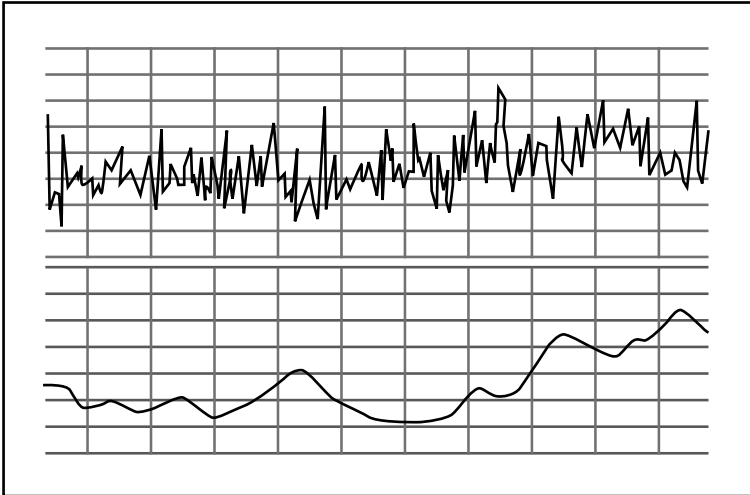
das ungeübte Auge oft kaum erkennbar, insbesondere wenn beide eine vergleichbare Rauigkeit aufweisen. Bei starker Vergrößerung werden jedoch die besonderen Eigenschaften der elektropolierten Ausführung deutlich. Behandlungen, die auf der Wirkung von Schleifmitteln oder anderen mechanisch abtragenden Verfahren beruhen, verändern unvermeidlich die Oberfläche, so schonend sie auch vorgenommen werden mögen.



Oberflächen von nichtrostendem Stahl: geschliffen (oben), mechanisch poliert (Mitte), elektropoliert (unten)

Fotos: Poligrat, München (D)

³ cf. VAN HECKE, Benoît, Mechanische Oberflächenbehandlung nichtrostender Stähle für dekorative Anwendungen. Luxemburg: Euro Inox 2006 (Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 6) – http://www.euro-inox.org/pdf/map/MechanicalFinishing_DE.pdf



Oberflächenrauigkeit von mechanisch mit Korn 400 geschliffenem (oben) nichtrostendem Stahl im Vergleich mit einer mechanisch mit Korn 120 geschliffenen und anschließend elektro-polierten Ausführung; beide haben denselben R_a -Wert.

Foto: Poligrat, München (D)

Die Unterschiede betreffen nicht allein die Oberflächentopographie; die durch die Kaltumformung bedingten Veränderungen der Werkstoffeigenschaften setzen sich bis deutlich in den Grundwerkstoff hinein fort. Auch können Schleifmittelteilchen in die Oberfläche eingedrückt werden. Die Festigkeit der Oberfläche erhöht sich örtlich aufgrund der Spannungen, die durch die Bearbeitung verursacht werden.

Bei optimaler Abstimmung von Stromstärke, Temperatur und Badzusammensetzung lassen sich glatte und defektfreie Oberflächen erzielen. Das Elektropolieren ist dem mechanischen Polieren insofern technisch überlegen, als es keine Fremdstoffe involviert und die erzielten Oberflächen passiv und somit optimal korrosionsbeständig sind. [6]

Das Elektropolieren eignet sich auch für komplex geformte Bauteile.
Foto: Packo Surface Treatment, Diksmuide (B)

4.2 Galvanisieren

Hochglänzende Oberflächen können auch durch Verchromen und Vernickeln anderer Werkstoffe, z.B. von unlegiertem Stahl, erzielt werden. Allerdings sind diese metallischen Überzüge selten auf mikroskopischer Ebene fehlerfrei. Außerdem können sie absplittern oder abgerieben werden, so dass der Grundwerkstoff bloß liegt und korrodieren kann [3]. Aus diesem Grund stellt das Verchromen in aller Regel keine Alternative zum Elektropolieren dar.

Bei Zierteilen für Autos wird zuweilen auch nichtrostender Stahl verchromt. In diesem Fall dient ein dünner Chromüberzug lediglich der optischen Angleichung an Teile aus verchromtem unlegiertem Stahl. Die Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahls wird durch solche Verchromungen nicht weiter verbessert.



5 Ausschreibung elektropolierter Oberflächen

In einer Reihe von Branchen ist das Elektropolieren als abschließende Bearbeitungstechnik für eine Reihe von metallischen Werkstoffen die Regel, weil es die Oberflächenqualität verbessert, ruckstandsfrei ist und haftungsmindernd wirkt – oder auch aus ästhetischen Gründen. Ist das Ziel lediglich ein verbessertes Aussehen, reicht als Qualitätskontrolle zumeist die visuelle Beurteilung aus. Bei höchsten Anforderungen, die eine umfassende Dokumentation und Rückverfolgbarkeit erforderlich machen, ist dagegen eine mikroskopische Untersuchung unerlässlich.

Eine hochglanzpolierte Oberfläche (im englischsprachigen Raum auch als “no 8 mirror finish” bezeichnet) mag für das ungeübte Auge genauso aussehen wie eine elektropolierte; beide können auch denselben Rauigkeitswert (als arithmetischer Mittelwert R_a ⁴ – oder als quadratischer Mittelwert RMS (root mean square) der Messwerte eines Profilometers) aufweisen – und doch lassen elektronenmikroskopische Aufnahmen deutliche Unterschiede hervortreten. Die elektropolierte Oberfläche ist frei von Störstellen, während auf der mechanisch hochglanzpolierten Oberfläche mikroskopische Kratzer, eingedrückte Schleifpartikel sowie Poliermittelrückstände erkennbar werden.

Messungen der Oberflächenrauigkeit lassen keine unmittelbare Aussage darüber zu, wie leicht sich elektropolierte Oberflächen reinigen lassen und wie ihre verunreinigungs- und partikelfreien, haftungsmindernden Eigenschaften ausgeprägt sind [1].

Der Auftraggeber muss angeben, welches Erscheinungsbild – z.B. matt oder glänzend – gewünscht wird. Sofern nicht anders angegeben, wird normalerweise von einer glänzenden Oberfläche ausgegangen. Anderenfalls wird empfohlen, zwischen den Vertragsparteien Musterauszutauschen, die den vereinbarungsgemäßen Oberflächenzustand (oder dessen Bandbreite) festlegen. Erforderlichenfalls wird der Werkstoff zunächst einer mechanischen Schleif- und Polierbehandlung unterworfen, um nach dem Elektropolieren das gewünschte Erscheinungsbild aufzuweisen [7].

Soweit vereinbart, sollten die elektrolytisch zu glättenden und passivierenden Oberflächen bei Betrachtung aus einem Abstand von ca. 50 cm keine sichtbaren Schadstellen wie Grübchen, Rauigkeit, Streifen oder Verfärbungen aufweisen [8]. Stabilisierte nichtrostende Stähle wie die Sorten EN 1.4541 oder 1.4571 sind für das Elektropolieren nicht geeignet.

Zu beachten ist, dass Schadstellen im Grundwerkstoff, z.B. Kratzer, Poren oder Einschlüsse, Aussehen und Funktion beeinträchtigen können.

⁴ R_a ist das arithmetische Mittel der Rauigkeitswerte, die über eine definierte Länge gemessen werden.

Informationen, die dem Elektropolierbetrieb angegeben werden müssen

- genaue Bezeichnung der Norm, nach der das Elektropolieren vorgenommen werden soll [8], die Werkstoffnummer und die für die Prüfung des Werkstücks angewandte(n) Untersuchungsmethode(n)
- das zu erzielende Erscheinungsbild. Alternativ kann auch ein Muster vom Auftraggeber vorgelegt bzw. von ihm genehmigt werden.
- Bereiche des Werkstücks, die als Kontaktstellen dienen können
- ggf. Abmessungstoleranzen gemäß Auftrag⁵
- Anforderungen hinsichtlich des Passivierungstests⁶
- Anforderungen an den vorzuliegenden Prüfungsbericht

6 Typische Anwendungen

Rohrleitungsbau

Das Elektropolieren wird zunehmend für die Behandlung der Innen- und Außenflächen von Rohrleitungen eingesetzt, zumal wenn fremdstoff- und partikelfreie, Mikroorganismen abweisende Oberflächen erforderlich sind. Zudem wird Reibung ver-

mindert und eine metallisch reine Oberfläche erzielt. Hauptanwendungsgebiete sind die Erdöl-, Kern-, Pharma-, Halbleiter- sowie Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie.

Medizintechnische Anwendungen

Die Medizintechnik gehört zu den klassischen Anwendungsbereichen des Elektropolierens. Das Elektropolieren empfiehlt sich für Krankenhausausrüstungen, chirurgische Instrumente oder andere medizintechnische Teile. Hierzu gehören Skalpelle, Klemmen, Sägen, Gefäß-, Knochen- und Gelenkimplantate, Prothesen usw., die vollständig und kontaminationsfrei zu reinigen sein müssen. Auch Gegenstände, die ionisierender Strahlung ausgesetzt sind und regelmäßig dekontaminiert werden müssen, sind typische Anwendungen für das Elektropolieren.



Da Implantate und chirurgische Instrumente mit korrosiven Körperflüssigkeiten in Kontakt kommen, werden sie elektropoliert, um höchste Korrosionsbeständigkeit aufzuweisen.

Foto: Anopol, Birmingham (UK)

⁵ Üblicherweise werden während des Elektropolierens zwischen 5 und 10 µm Metall von der Oberfläche abgetragen. Zum Zweck des zusätzlichen Glättens können es jedoch auch bis zum 50 µm sein. An Rändern und Ecken (d.h. Flächen mit erhöhter Stromdichte) ist der Abtrag erhöht, sofern sie nicht geschützt werden oder Hilfskathoden zum Einsatz kommen.

⁶ Weitere Informationen sind auch ISO 15730 oder ASTM B 912 zu entnehmen.

Halbleiterherstellung

Reinräume in der Halbleiterindustrie müssen frei von Partikeln und anderen Verunreinigungen sein. Das Elektropolieren ergibt optimale Metalloberflächen für Reinraumumgebungen, z.B. Arbeitsflächen, Sitze, Ständer, Verteilungssysteme für Gase und Flüssigkeiten, Abfallbehälter, Leuchtenbefestigungen, freiliegende elektrische Anschlüsse, Unterdruckkammern sowie Fertigungs- und Verarbeitungsanlagen.

Pharmazeutische Industrie

Ebenso wie die Halbleiterindustrie sind auch Unternehmen der Pharmaindustrie auf hochreine metallische Oberflächen angewiesen. Heute sind die Innenseiten von Mischern, Zuführsystemen, Filtern, Sieben, Behältern, Trocknern, Zerkleinerern, Kühlschlangen, (Platten-)Wärmetauschern und anderen bedeutenden Ausrüstungsgegenständen normalerweise elektropoliert. In pharmazeu-



tischen Anlagen stellt das Elektropolieren bei Risiken mikrobiologischer oder anderer Verunreinigung eine geeignete Gegenmaßnahme dar.

Anhaftungen zu vermeiden, gehört bei Dosiereinrichtungen in der Pharmaindustrie zu den zentralen Anforderungen. Foto: Centro Inox, Mailand / Delmet, Gorgonzola (I).

Öl- und Gasförderung

Neuerdings gehört auch die Energiewirtschaft zu den Anwendern des Elektropolierens. Mehr und mehr Bohrgestänge werden elektropoliert, vor allem für die Superpassivation zur Abwehr von Korrosion durch Sauer gas. Im Übrigen werden auch in der Offshore-Technik Anlagenteile wie Rohrleitungen, Pumpen, Ventile, Verdichter



Tanks für die Arzneimittelherstellung erfüllen nach dem Elektropolieren höchste Hygienestandards. Foto: Centro Inox, Mailand (I)

und Schutzrohre elektropoliert, um sie gegen Korrosionsbeanspruchungen durch salzhaltige Atmosphäre und Wasser zu rüsten.

Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie

Das Elektropolieren führt zu jenen gut reinigbaren und gleichzeitig ansprechend aussehenden Oberflächen, die in dieser Industrie gefordert werden; gleichzeitig vermeiden sie Verunreinigungen und bieten ein Höchstmaß an Hygiene. Das Verfahren vermindert Oxidation und Verschmutzung von Teilen aus nichtrostendem Stahl in Küchen, der Milchwirtschaft und der maschinellen Lebensmittelverarbeitung. Insgesamt wird eine vollständig reine Oberfläche erzielt, die ein Höchstmaß an Schutz gegen Bakterienbesiedlung und Produktanhaftungen bietet.

Wasseraufbereitung

Bei der Wasseraufbereitung und der Destillation dient das Elektropolieren dem Ziel, die Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahls zu optimieren und bakterieller Kontamination entgegenzuwirken, die

in derartigen Systemen möglich ist. Filter, Siebe, Pumpen und Ventile, Verdichter und Rohrleitungen sind typische Beispiele.

Papierherstellung

In der Papierindustrie sind Leitungen für Papierbrei sowie der Stoffauflauf Anlagenteile, die oft elektropoliert werden.

Straßenmöbel

Durch Verringerung der Mikrorauigkeit vermindert das Elektropolieren die Anfälligkeit für Schmutzanhaftungen und erleichtert das Entfernen von Graffiti.

Links: Zwanzigjährige Praxiserfahrung in diesem Untergrundbahnhof haben gezeigt, dass geschliffene und elektropolierte Oberflächen unterhaltsfreundlich sind. Foto: Euro Inox, Brüssel (B) / Rheinbahn AG, Düsseldorf (D)

Rechts: Graffiti lässt sich von elektropolierten Oberflächen leichter entfernen. Foto: Packo Surface Treatment, Diksmuide (B)



7 Glossar

Aktivieren

Aufhebung des passiven Oberflächenzustandes

Ätzen

ungleichmäßige Auflösung einer metallischen Oberfläche

Austrag

Verlust von Flüssigkeit durch Entnahme der darin behandelten Gegenstände

Badverschleppung

Eintrag einer Flüssigkeit in eine Lösung durch die darin eingetauchten Gegenstände

Beizen

Entfernung von Oxiden oder anderer Verbindungen von einer metallischen Oberfläche durch einen chemischen oder elektrochemischen Prozess

Elektrolytlösung

elektrisch leitendes Medium – zumeist eine wässrige Lösung von Säuren, Basen oder gelösten Salzen eines Metalls

Elektropolieren

Erhöhung von Oberflächenglätte und -glanz durch anodische Schaltung in einer geeigneten Lösung

Entfetten

Entfernung von Ölen und Fetten von einer Oberfläche

Entgraten

Entfernung von scharfen Kanten und Graten auf mechanischem, chemischem oder elektrochemischem Weg

Galvanisieren

Anlagerung einer festhaftenden metallischen Schicht auf einem Substrat mittels Elektrolyse mit dem Ziel, eine Oberfläche mit Eigenschaften oder Abmessungen zu erzielen, die sich von jenen des Substratwerkstoffs unterscheidet

Gasen

Bildung von Gasen, die während der Elektrolyse von einer oder mehreren Elektroden ausgeht

glänzende Oberfläche

gleichmäßige, glatte und stark reflektierende Oberfläche

Glätten

Glättung einer Oberfläche durch Reiben unter Druck ohne nennenswerten Materialabtrag

Hilfskathode

Kathode, die so angeordnet ist, dass sie einen Teil des Stromes von jenen Werkstückteilen ableitet, die ansonsten einer zu hohen Stromdichte ausgesetzt wären

Hochglanzpolieren / Schwabbeln

Glättung einer Oberfläche mittels einer rotierenden Polierscheibe unter Verwendung feiner Schleifpartikel, die in eine Emulsion in Form einer Paste oder eines Fettstiftes eingebunden sind. Anm.: fein polierte Oberflächen entwickeln einen mittleren bis spiegelgleichen Glanzgrad ohne erkennbare Schliffspuren auf der Oberfläche

Korb

Halterung, die während des Elektropolierens bzw. Galvanisierens oder anderer elektrochemischer Vorgänge das Werkstück hält und Strom darauf überträgt

Auch große Anlagenteile wie z.B. Polymerisationsreaktoren lassen sich electropolieren.
Foto: Poligrat, München (D)



Messfläche

Oberfläche, die zur Prüfung auf die Einhaltung von einer oder mehreren Anforderungen herangezogen wird

Oberflächenbehandlung

Behandlung zur gezielten Veränderung einer Oberfläche

Oberflächenzustand

Erscheinungsbild einer Beschichtung oder des Grundwerkstoffes (z.B. glänzend, matt, seidenmatt)

Passivieren

Herstellung eines passiven Oberflächenzustandes auf der Oberfläche eines Metalls oder einer metallischen Beschichtung

Polieren, mechanisch

Glättung einer metallischen Oberfläche durch Verwendung abrasiv wirkender Teilchen, die auf die Oberfläche einer – zumeist schnell rotierenden – Schleifscheibe oder eines Endlosbandes geklebt sind

Reinigen

Entfernung von Fremdstoffen, z.B. Oxiden, Anlauffarben, Öl usw.

› alkalische Reinigung

Reinigung mittels einer alkalischen Lösung

› anodische Reinigung

elektrolytische Reinigung, bei der das Werkstück kathodisch geschaltet ist

› elektrolytische Reinigung

Reinigung, bei der ein Gleichstrom durch einen Elektrolyten geleitet wird, wobei das zu reinigende Werkstück eine der Elektroden darstellt

› Säurereinigung

Reinigung mittels einer sauren Lösung

Schleifen

Materialabtrag von der Oberfläche eines Werkstücks mittels Schleifmitteln, die auf einen festen Träger aufgebracht oder darin eingebettet sind, wobei fortschreitend vom Grobschliff zum Feinschliff vorgegangen wird

seidenmatte Oberfläche

gleichförmige Oberflächenbeschaffenheit von feiner Struktur ohne erkennbare konturierte Reflexe

Stromdichte

Verhältnis der Stromstärke an der Oberfläche einer Elektrode zur Größe dieser Oberfläche. Anm.: die Stromdichte wird häufig in A/dm² angegeben

tiefmatte Oberfläche

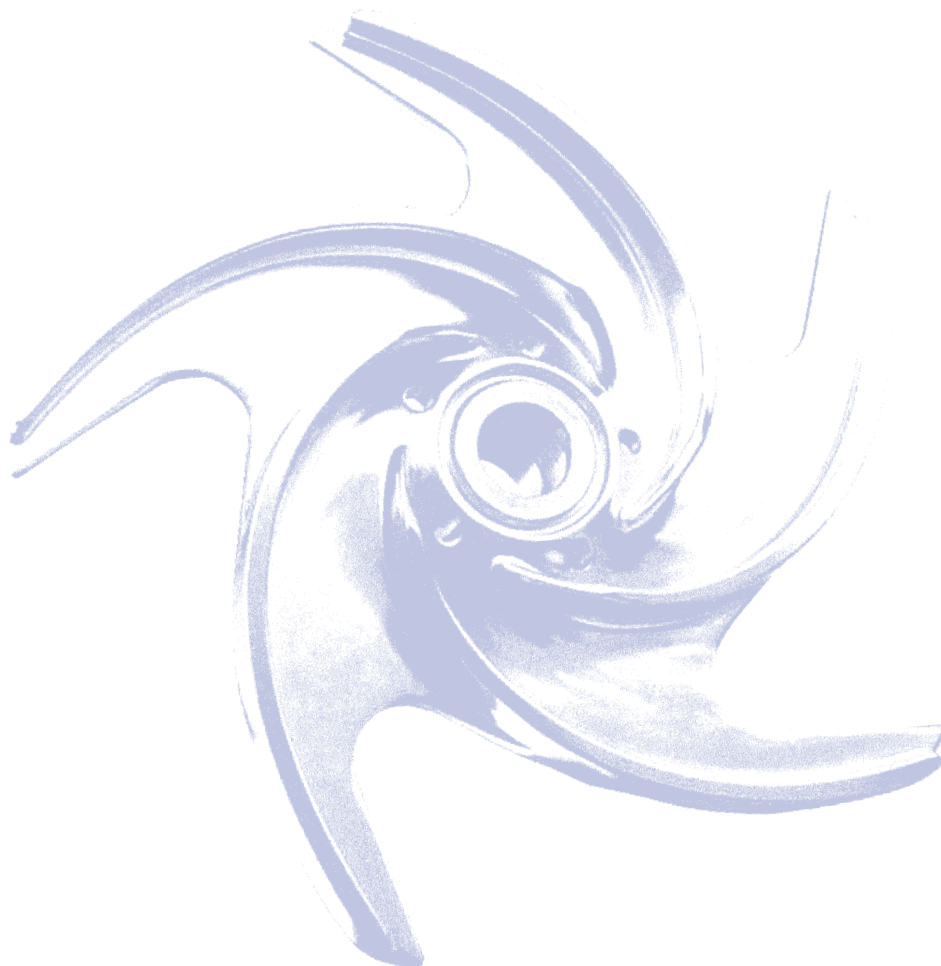
Oberflächenbeschaffenheit, die durch die Abwesenheit von gerichteten oder diffusen Spiegelungen gekennzeichnet ist

Zunder

der Metalloberfläche anhaftende Oxidschicht; dicker als die Oberflächenschicht

8 Literatur

- [1] www.delstar.com, *“Electropolishing, A User’s Guide to Applications, Quality Standards and Specifications”*, 2003
- [2] <http://www.kepcoinc.com/?page=serviceselectropolishing>, Kalamazoo Electropolishing Company, *“What is Electropolishing?”*
- [3] <http://www.abccorporate.com>, Allegheny Surface Technology, *“Electropolishing”*
- [4] http://www.ableelectropolishing.com/electropolishing_workbook.pdf, Able Electropolishing, *“Looking for Solutions to Metal Surface Problems?”*
- [5] http://www.electropolish.com/pubs/process_steps.pdf, *“The MCP System of Electropolishing, General Process Steps”*
- [6] MOHAN, S., KANAGARAJ, D., VIJAYALAKSHMI, S., RENGANATHAN, N. G., *“Electropolishing of Stainless Steel – a Review”*, Trans IMF 79, No.4, 2001
- [7] ASTM B 912-02 Standard Specification for Passivation of Stainless Steels Using Electropolishing
- [8] ISO 15730: 2000-12 Metallische und andere anorganische Überzüge. Elektropolieren als Mittel zum Glätten und Passivieren von rostfreiem Stahl



ISBN 978-2-87997-311-1