



Aluminium-Zentrale e.V.
Beratung und Information

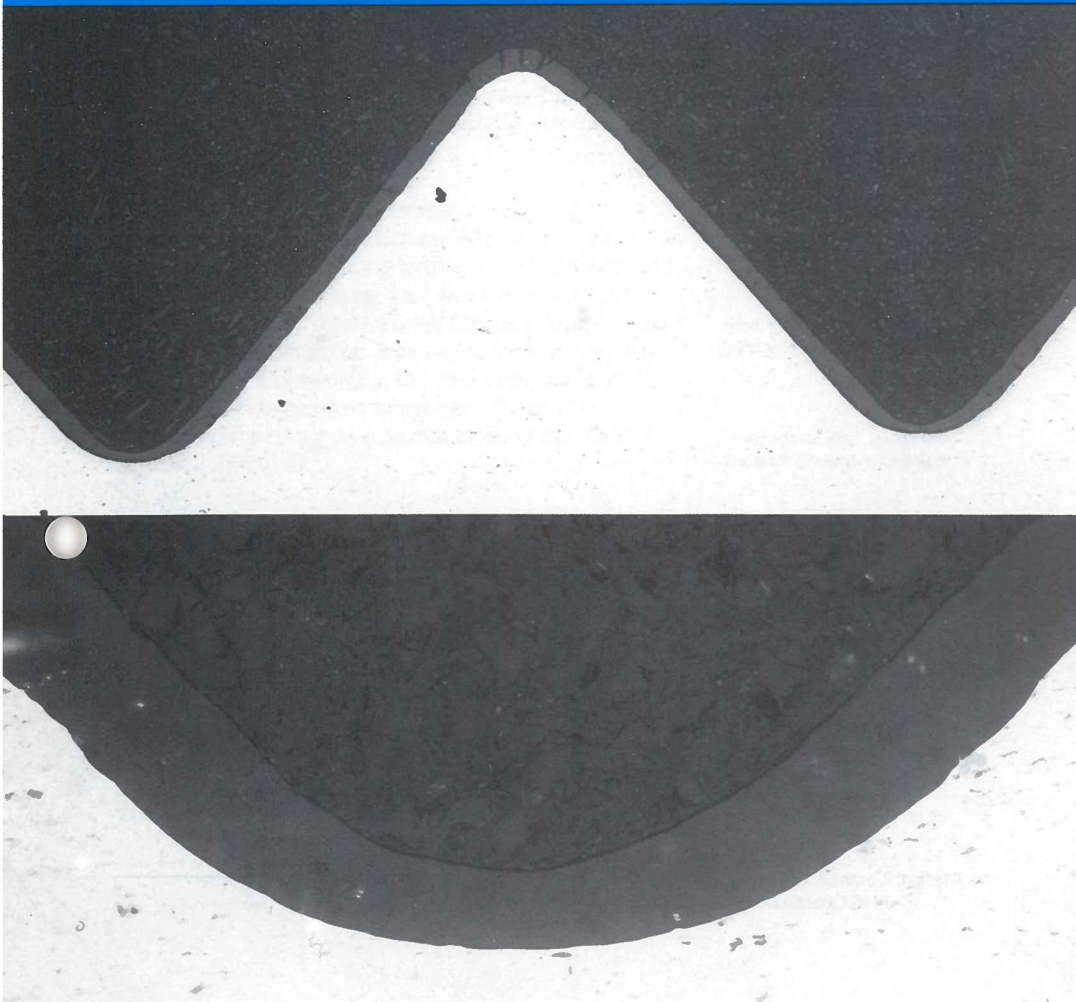
Am Bonnhof 5, 40474 Düsseldorf
Postfach 105463, 40045 Düsseldorf
Telefon: +49 211 - 47 96 0
Telefax: +49 211 - 47 96 410
E-Mail: technik@aluinfo.de
Web: www.aluinfo.de

**Aluminium-
Merkblatt**

O 11

Hartanodisieren

3. Auflage



Einleitung

Die Hartanodisation stellt eine spezielle Verfahrensvariante der anodischen Oxidation dar. Es werden auf Aluminium besonders harte, dicke und abriebfeste Oxidschichten für technische Zwecke erzeugt, die den von der Industrie gestellten Forderungen in Bezug auf Verschleißfestigkeit, Gleitfähigkeit, elektrische Durchschlagsfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit entsprechen. Die Schichtdicken liegen werkstoffabhängig in einem Bereich von 25 bis 150 μm . Für normale technische Beanspruchung genügen 30 bis 80 μm . An das Aussehen dieser zumeist grau bis braun gefärbten Oxidschichten werden keine dekorativen Ansprüche gestellt.

Funktionelle, harte und abriebfeste Oxidschichten, Schichtdicke 30 bis 80 μm

Oberflächenvorbehandlung

Die meist spanend bearbeiteten funktionellen Bauteile werden vor dem Hartanodisieren nach Bedarf entfettet und gebeizt, um die natürliche Oxidschicht des Aluminiums zu entfernen, wobei sich die Stärke des Beizens nach der für das Bauteil zulässigen Rauhtiefe richtet.

Entfernung der natürlichen Oxidschicht

Hartanodisationsverfahren

Hartoxidschichten lassen sich auf Aluminiumlegierungen durch Anwendung geeigneter Elektrolyte und Arbeitsbedingungen erzeugen. Merkmale der Hartanodisierverfahren sind niedrige Elektrolyttemperatur und höhere Stromdichte. Eine wirksame Kühlung des Elektrolyten ist notwendig, um eine örtliche Überhitzung der Oxidschicht zu vermeiden. Durch die niedrige Temperatur wird die Rücklösung der Oxidschicht vermindert.

Niedrige Elektrolyttemperatur, höhere Stromdichte

Verminderte Rücklösung der anodisch erzeugten Oxidschicht

Tafel 1: Einige Hartanodisationsverfahren

Verfahren	Elektrolyt (Hauptbestandteil)	Stromart ¹⁾	Spannung V	Stromdichte A/dm ²	Temperatur °C	Schichtdicke μm
M. H. C.	Schwefelsäure und Oxalsäure	G	25 → 60	2,2 bis 2,7	0	25 bis 150
Alumilite 225/226	Schwefelsäure und Oxalsäure	G	25 → 50	3 bis 4	8 bis 10	25 bis 50
Hardas	Schwefelsäure	G + W	20 → 60	5 bis 20	0 bis 5	25 bis 75
Sanford	organische und anorganische Bestandteile	G	15 → 60	1 bis 2	0 bis 10	25 bis 50

¹⁾ G = Gleichstrom, G + W = Gleichstrom mit überlagertem Wechselstrom.

Entsprechend der Zunahme der Schichtdicke wird die elektrische Spannung beim Anodisieren erhöht. Es werden Spannungen von 25 bis 100 Volt und Stromdichten von 2 bis 5 A/dm² benötigt. Als Elektrolyt verwendet man Schwefelsäure und/oder Oxalsäurelösungen (Betriebsbedingungen s. Tafel 1).

Hartoxidschichten lassen sich auch in Spezialbädern bei Raumtemperatur erzeugen. Neben Schwefelsäure und/oder Oxalsäure werden der Badlösung organische Säuren oder Salze hinzugesetzt. Günstige Arbeitsbedingungen wie Stromdichte von 3 bis 10 A/dm², Spannung von 40 bis 60 V ermöglichen die Erzeugung von Hartoxidschichten mit einer Dicke bis zu 250 µm in Abhängigkeit vom Werkstoff. Dies beruht auf der geringeren Rücklöslichkeit des gebildeten Oxids in Gemischen aus organischen Säuren und Salzen.

Werkstoffwahl

Die Auswahl des richtigen Materials und des geeigneten Anodisierverfahrens kann nicht sorgfältig genug erfolgen. Der richtige Werkstoff, ausgewählt im Hinblick auf Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Härte usw., führt unter Einbeziehung der Verfahrensvariante zur Erreichung optimaler Schichteigenschaften.

Richtige Werkstoffwahl

Eine Vielzahl von Knetlegierungen sowie Sand-, Kokillen- und Druckgußlegierungen lassen sich mit gutem Ergebnis hartanodisieren (vgl. Tafel 2).

Tafel 2: Hartanodisierbare Werkstoffe (Auswahl)

Knetlegierungen

AlMn1	AlMg2,7Mn0,8	AlMgSi0,5	AlZnMgCu0,5	AlCuSiMn*)
AlMg1	AlMg4,5Mn	AlMgSi1	AlZnMgCu1,5	AlCuMg1*)
AlMg3			AlZn4,5Mg1	AlCuMg2*)
AlMg5				AlMgSiPb*)
				AlCuMgPb*)
				AlCuBiPb*)

Sand- und Kokillengußlegierungen G/GK-

AlSi5Mg	AlMg3	AlMg3Si	AlSi6Cu4*)
AlSi7Mg	AlMg5	AlSi10Mg	AlSi9Cu3*)
			AlCu4Ti*)
			AlCu4TiMg*)
			AlSi12NiMg

Druckgußlegierungen GD-

AlMg9, AlSi12*), AlSi12(Cu)*), AlSi9Cu3*), AlSi10Mg*)

*) Sonderverfahren

Schichtbildung

Die Schichtausbildung verläuft bei der Hartanodisation in gleicher Weise, wie dies bei der dekorativen anodischen Oxidation der Fall ist. Lediglich die Porenzahl ist erheblich geringer und die Schicht weist eine höhere Dichte und Härte auf. Bei engen Maßtoleranzen ist zu beachten, daß eine Hartoxidschicht je zur Hälfte in den Werkstoff hineinwächst und sich auf der Oberfläche aufbaut (Bild 1). Ferner erfolgt durch Umwandlung des Aluminiums in Aluminiumoxid eine geringfügige Gewichtszunahme.

Hartoxidschicht mit geringer Porenzahl, hoher Dichte und Härte
Hartoxidschicht wächst zu 50 % ins Metall

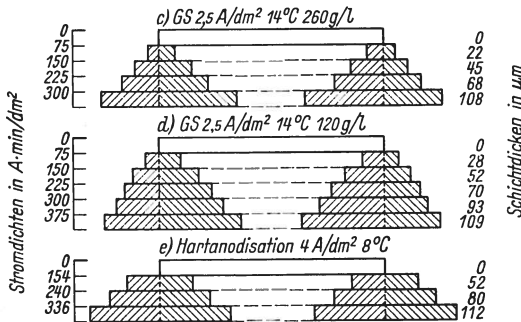


Bild 1: Schichtdickenwachstums-Verteilung nach innen und außen bei einigen Anodisierverfahren

Für normale technische Beanspruchungen genügt eine Schichtdicke von 30 bis 80 μm , dickere Schichten können erzeugt werden.

Die Legierungselemente haben einen wesentlichen Einfluß auf die Schichtbildung. Sie lassen sich wie folgt gruppieren:

Einfluß von Legierungselementen

- Legierungselemente, die beim Anodisieren nicht angegriffen und gelöst werden, wie Silizium und Blei
- Legierungselemente, die löslich sind, aber als Oxide oder andere unlösliche Verbindung in der Schicht bleiben, wie Magnesium und Zink
- Legierungselemente, die stark löslich sind und keine stabilen Verbindungen in der Schicht bilden, wie Kupfer oder Nickel

Silizium, Blei

Magnesium, Zink

Kupfer, Nickel

Die Legierungselemente können sich als Störstellen in der Oxidschicht auswirken oder Makroporen bilden, wenn sie überwiegend aus der Oxidschicht herausgelöst werden, wie im Fall von Kupfer und Nickel.

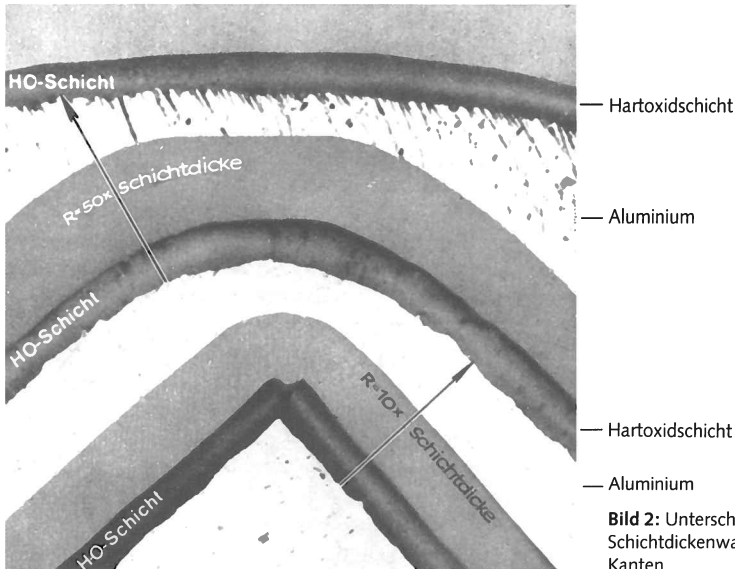
Bildung von Makroporen

Schichtwachstum an scharfen Kanten

Das Schichtwachstum an scharfen Kanten führt nicht zu einer geschlossenen Schicht (Bild 2). Aus diesem Grunde sollten schon vor der anodischen Oxidation bei der Formgebung solche scharfen Kanten vermieden werden, da sonst die Korrosionsbeständigkeit an diesen Stellen nicht mehr gegeben ist. Es sind möglichst große Radien zu wählen, wenn man Teile hartanodisieren will.

An scharfen Kanten bildet sich keine geschlossene Hartoxidschicht

Möglichst große Radien wählen



Eigenschaften von Hartoxidschichten

Rißbildung

Es ist zu beachten, daß Hartoxidschichten zu feinsten Haarrissen neigen. Diese sind ohne Einfluß auf die Korrosionsbeständigkeit und Abriebfestigkeit, können sich jedoch vorteilhaft bei der Aufbringung von Schmiermitteln zur Verbesserung der Notlaufeigenschaften auswirken.

Zurückzuführen ist die Rißbildung wahrscheinlich auf unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten Metall: Oxidschicht und/oder auf innere Spannungen infolge höherer Härte der dickeren Oxidschicht.

Haarrisse

Härte

Hartoxidschichten zeichnen sich durch eine völlig gleichmäßige Härte aus. Es ist kein Härteabfall von innen nach außen feststellbar im Gegensatz zu dekorativen Oxidschichten. Hartoxidschichten erreichen eine Härte HV 0,025 bis 550.

Einen Vergleich der Härte von GS- und Hartoxidschichten zeigt Bild 3.

Gleichmäßige Härteverteilung über den Oxidschichtquerschnitt

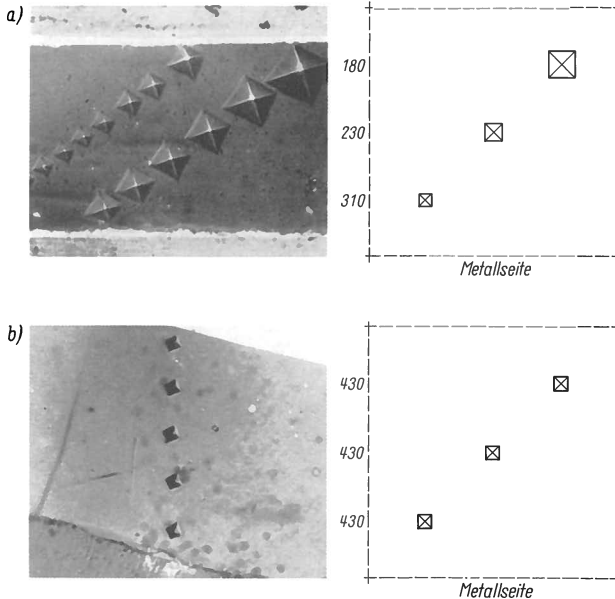


Bild 3: Härteverteilung im Querschnitt anodisch erzeugter Oxidschichten: Eindruck eines gleichbelasteten Vickersdiamanten; a in normalen GS-Schichten (Härteabnahme); b in Hartoxidschichten (gleichbleibende Härte)

Verschleiß- und Abriebfestigkeit

Die besondere Struktur von Hartoxidschichten und die hohe Schichtdicke bei einer konstanten Härte über den Schichtquerschnitt ergeben hervorragende Verschleißigenschaften bei Gleitreibung. Geschmierte Hartoxidschichten haben eine niedrige Reibungszahl.

Hohe Verschleißfestigkeit bei Gleitreibung

Gleitfähigkeit

Besonders glatte Oberflächen für Fälle der Gleitbeanspruchung werden dadurch erreicht, daß zunächst eine dickere Hartoxidschicht aufgebracht wird, die anschließend durch Schleifen und Polieren die gewünschte Abmessung erhält. Die Oberflächenrauheit liegt, wie die Praxis zeigt, danach unter $1 \mu\text{m}$. Die Gleitfähigkeit der Hartoxidschichten kann durch Imprägnieren mit PTFE entscheidend verbessert werden.

Verbesserung der Gleiteigenschaften durch PTFE-Imprägnierung

Elektrisches Isolationsvermögen

Die elektrische Durchschlagfestigkeit beträgt je nach Oxidschichtdicke und Grundwerkstoff 20 bis 30 V/ μm .

Durchschlagfestigkeit
20 bis 30 V/ μm

Wärmeleitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Hartoxidschichten ist gering. Die Schicht ist bei Kurzzeitbelastung beständig bis zu 2000°C und schützt das Grundmaterial vor dem Aufschmelzen. Bei einer Dauerbelastung bis ca. 200°C haben sich Hartoxidschichten ohne Veränderung der Schichteigenschaften bewährt.

Kurzzeitbelastbarkeit bis 2000°C

Dauerbelastbarkeit bis 200°C

Korrosionsbeständigkeit

Hartoxidschichten weisen bedingt durch die Dicke der Schicht und deren Struktur (wie kleinste Porendurchmesser und wenig Poren) eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf. Das Korrosionsverhalten der Hartoxidschicht läßt sich durch Verdichten (Porenverschluß) noch verbessern.

Hohe Korrosionsbeständigkeit,
Verbesserung durch Verdichten
möglich

Verdichten

Ein Verdichten ist bei Schichten, die in Elektrolyten auf der Basis Schwefelsäure/Oxalsäure bei niedrigen Temperaturen erzeugt wurden, nicht üblich. Dagegen kann die Verdichtung durchgeführt werden, wenn man Verfahren anwendet, die bei Raumtemperatur arbeiten und bei denen der Elektrolyt aus einer Mischung von organischen Säuren besteht. Das Verdichten beeinflusst nicht die Härte der Schicht, führt aber zu einer Verminderung der Verschleißfestigkeit.

Verminderung der Verschleiß-
festigkeit durch Verdichten

Einfärbbarkeit

Hartoxidschichten lassen sich nur sehr schwer oder überhaupt nicht einfärben. Zurückzuführen ist diese Tatsache wahrscheinlich auf den geringen Porendurchmesser, den andersartigen Aufbau der Schicht, in jedem Fall aber auf die geringere Anzahl von Poren (Porendichte) verglichen mit dekorativen Oxidschichten.

Geringe Einfärbbarkeit der
Hartoxidschicht

Schichtdickenmessung

Die Dicke der Hartoxidschicht kann zerstörungsfrei nach DIN 50949 mit Wirbelstrommeßgeräten gemessen werden oder nach DIN 50950 als Schichtdickenmessung am Schliff mit dem Mikroskop.

Schichtdickenmessung nach
DIN 50949 oder DIN 50950

Streuung

Die Hartoxidschicht bildet sich auch in Sacklochbohrungen aus, wenn deren Länge nicht das 2,5fache des Durchmessers übersteigt. Bei Durchgangsbohrungen kann die Länge derselben das 5fache des Durchmessers betragen.

Schichtausbildung auch in Bohrungen

Maßtoleranzen

Die Schichtdickentoleranz beträgt bei Normalverfahren $\pm 5 \mu\text{m}$, bei Sonderverfahren sind größere Abweichungen möglich. Die Hartoxidschicht kann durch Schleifen, Honen, Läppen oder Polieren auf Maß nachgearbeitet werden. Ist bei geforderten engen Toleranzen eine Nacharbeit nicht möglich, muß dies bereits bei der Fertigung berücksichtigt werden.

Mechanisches Nacharbeiten der Hartoxidschicht

Praktische Anwendung (Beispiele)

Hartanodisierte Teile werden in verschiedenen Industriezweigen verwendet, zum Beispiel:

- Ventilschieber, Steuergehäuse, Zylinder für pneumatische und hydraulische Geräte, Kolbenstangen
- Fadenführer, Umlenkrollen, Walzen bei Textilmaschinen
- Zahnräder, Zahnriemenscheiben, Ventile, Zylinder, Kolben, Gleitschienen, Nocken, Lager usw. für den Motorenbau

Technische Merkblätter

- A 1 Aluminium-Dachdeckung und -Wandbekleidung
- A 2 Aluminium-Dachdeckung – Doppelfalz- und Leistendach
- A 5 Reinigen von Aluminium im Bauwesen / A 5 Cleaning of Aluminium in the Building Industry
- A 6 Folien und dünne Bänder aus Aluminium als Funktionsträger für Dämmelemente und Dichtungsbahnen im Bauwesen
- A 7 Richtlinie für die Verlegung von Aluminium-Profiltafeln
- A 8 Aluminium-Wellprofile
- A 9 Verbindungen von Profiltafeln und dünnwandigen Bauteilen aus Aluminium
- A 11 Bemessung von Aluminium-Trapezprofilen und ihren Verbindungen. Berechnungsbeispiele

- B 1 Biegen von Aluminium-Halbzeug in der handwerklichen Praxis
- B 2 Spanen von Aluminium

- E 1 Aluminium in der Elektrotechnik und Elektronik

- K 5 Einfache Spannungsnachweise

- O 2 Chemische Oxidation, Chromatieren, Phosphatieren von Aluminium
- O 3 Beschichten von Aluminium
- O 4 Anodisch oxidiertes Aluminium
- O 5 Schleifen und Polieren von Aluminium
- O 6 Beizen und Entfetten von Aluminium
- O 8 Galvanische und chemische Überzüge

- V 1 Gasschmelzschweißen von Aluminium
- V 2 Lichtbogenschweißen von Aluminium
- V 4 Löten von Aluminium
- V 5 Nieten von Aluminium
- V 6 Kleben von Aluminium

- W 1 Der Werkstoff Aluminium / W 1 The Metal Aluminium
- W 2 Aluminium-Knetwerkstoffe
- W 3 Formguss von Aluminium-Werkstoffen
- W 7 Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen
- W17 Aluminiumschäume »Herstellung, Anwendung, Recycling«
- W18 Aluminium in der Verpackung »Herstellung, Anwendung, Recycling« /
W 18 Aluminium in the Packaging Industry »Manufacture , Use, Recycling«

Hinweis: Weitere Literatur rund um das Thema Aluminium finden Sie auf unserer Homepage unter www.aluinfo.de in der Rubrik „Shop“.



GESAMTVERBAND DER
ALUMINIUMINDUSTRIE e.V.

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf

Postfach 10 54 63
40045 Düsseldorf

Tel.: 0211 - 47 96 - 279/285

Fax: 0211 - 47 96 - 410

information@aluinfo.de
www.aluinfo.de