

	DIN EN 4881	
ICS 25.160.10; 49.025.20 Luft- und Raumfahrt – Mikrolichtbogenoxidation von Aluminium und Aluminiumlegierungen; Deutsche und Englische Fassung EN 4881:2023 Aerospace series – Micro-arc oxidation of aluminium and aluminium alloys; German and English version EN 4881:2023 Série aéronautique – Oxydation micro-arc de l’aluminium et des alliages d’aluminium; Version allemande et anglaise EN 4881:2023 Gesamtumfang 50 Seiten DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)		

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (EN 4881:2023) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Werkstoffe, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-02-04 AA „Oberflächenschutz“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieses Dokuments die Englische Fassung hinzugefügt.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Deutsche Fassung

Luft- und Raumfahrt —
Mikrolichtbogenoxidation von Aluminium und
Aluminiumlegierungen

Aerospace series —
Micro-arc oxidation of aluminium and aluminium alloys

Série aérospatiale —
Oxydation micro-arc de l'aluminium
et des alliages d'aluminium

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. Juli 2023 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
3.1 Allgemeine Begriffe	5
3.2 Technische Begriffe	6
4 Allgemeine Grundsätze des Verfahrens	7
4.1 Zweck des Verfahrens	7
4.2 Anwendbarkeit	7
4.2.1 Typ A: Wie verarbeitet	7
4.2.2 Typ B: Nach Strahlen	7
4.2.3 Typ C: Nach spanender Bearbeitung	8
4.3 Anwendungsgrenzen	8
4.4 Klassifizierung	8
4.4.1 Systemtypen	8
4.4.2 Schichtdicken	8
5 Anforderungen an das Verfahren	9
5.1 Angaben für den Verarbeiter	9
5.2 Verfahrensablauf (Information)	9
5.3 Prozessbedingungen	10
5.3.1 Werkzeuge	10
5.3.2 Abdecken	10
5.3.3 Oberflächenvorbehandlung	10
5.3.4 Mikrolichtbogenoxidation	10
5.3.5 Nachbehandlung nach Mikrolichtbogenoxidation	12
5.3.6 Wasserqualität	12
5.4 Periodische chemische Analyse des Bades	12
5.5 Erneute Verarbeitung	13
5.6 Glaskugelstrahlen der brüchigen/porösen Schicht	13
5.7 Spanende Bearbeitung	13
6 Anforderungen an Probekörper	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Werkstoffe	14
6.3 Qualifizierungsprüfungen	14
6.4 Periodische Prüfungen	14
7 Anforderungen an Teile	14
7.1 Zustand der Teile vor der Behandlung	14
7.2 Prüfungen vor der Verarbeitung	14
7.3 Prüfungen nach der Mikrolichtbogenoxidation	14
8 Qualitätssicherung	15
8.1 Prozesszulassung	15
8.2 Allgemeines	15
Anhang A (normativ) Prüfungen an Probekörpern zur Qualifizierung	16
Anhang B (normativ) Periodische Prüfungen an Probekörpern	19
Anhang C (normativ) Prüfungen an Teilen	21
Anhang D (normativ) Prüfung der Verschleißfestigkeit	22
Literaturhinweise	23

Bilder

Bild 1 — MAO-Schicht 7

Tabellen

Tabelle 1 — Schichtdicken entsprechend dem Klassentyp 9
Tabelle A.1 — Anforderungen an Qualifizierungsprüfungen 16
Tabelle B.1 — Anforderungen an periodische Prüfungen 19
Tabelle C.1 — Mindestabnahmeprüfungen nach der Mikrolichtbogenoxidation der Teile 21
Tabelle D.1 — Verfahren 22

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 4881:2023) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat dieses Dokument die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer von ASD-STAN erhalten, bevor es CEN vorgelegt wurde.

Dieses Dokument muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2024, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2024 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, dieses Dokument zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anforderungen an die Mikrolichtbogenoxidation von Aluminium und Aluminiumlegierungen in Bezug auf den Korrosionsschutz, den Verschleiß, die Erosion sowie auf dielektrische und thermische Eigenschaften fest.

Zweck dieses Dokuments ist die Vorgabe von Design-, Qualitäts- und Fertigungsanforderungen. Es stellt keine vollständigen innerbetrieblichen Prozessanweisungen zur Verfügung; diese sind in den ausführlichen Prozessanweisungen des Verarbeiters angegeben.

Dieses Dokument bezieht sich nur auf die Mikrolichtbogenoxidation. Es bezieht sich nicht auf Oberflächenbehandlungstechniken wie die mechanische Nachbearbeitung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 6072, *Luft und Raumfahrt — Metallische Werkstoffe — Prüfverfahren — Ermüdungstest mit konstanter Amplitude*

EN ISO 2409, *Beschichtungsstoffe — Gitterschnittprüfung*

EN ISO 4516, *Metallische und andere anorganische Überzüge — Mikrohärteprüfungen nach Vickers und Knoop*

EN ISO 9227, *Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären — Salzsprühnebelprüfungen*

ASTM D4060¹, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser*

3 Begriffe

3.1 Allgemeine Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp/>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1.1

Originalgerätehersteller

Hersteller, der die Konstruktionsverantwortung trägt und Komponenten oder Produkte fertigt, die von einem Unternehmen gekauft und unter dem Markennamen dieses einkaufenden Unternehmens in den Handel gebracht werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Hersteller kann den Prozess auch anwenden.

1 Veröffentlicht durch: ASTM International (US) <https://www.astm.org/>.

3.1.2

Hersteller

Unternehmen oder Person, das/die Komponenten herstellt, fertigt, zusammenbaut

3.1.3

Verarbeiter

Unternehmen oder Person, das/die den Prozess anwendet

3.1.4

Prozessanweisung

Dokument, das die Anwendungsbereiche, den genauen Prozess (die wesentlichen Parameter, die einzelnen Schritte usw.), das Qualitätsmanagement, Umwelt- und Sicherheitsvorschriften beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Andere Beispiele von Dokumenten können als eine Prozessanweisung beschrieben werden.

3.1.5

Los

Gesamtheit der Teile desselben Typs (d. h. Form, Größe, Werkstoff), die zur selben Zeit im selben Bad verarbeitet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern keine anderslautenden Festlegungen bestehen.

3.2 Technische Begriffe

3.2.1

MDL, en: Mechanically Disturbed Layer

Schicht an der Oberfläche, die durch die Wärmebehandlung und das Walzen des Werkstoffs erzeugt wird

3.2.2

Krater

Oberflächenkorrosionsfehler, bei dem die Oxidschicht durchdrungen und/oder perforiert wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Merkmale von Korrosionskratern sind:

- runde, unregelmäßige oder längliche Geometrie;
- kometenschweifartige, gerade oder ringförmige Kontur, die aus der Vertiefung austritt;
- einige Korrosionsnebenprodukte innerhalb von Kratern (auf Aluminium kann das Nebenprodukt körnig, pulverig oder amorph und weiß, grau oder schwarz sein).

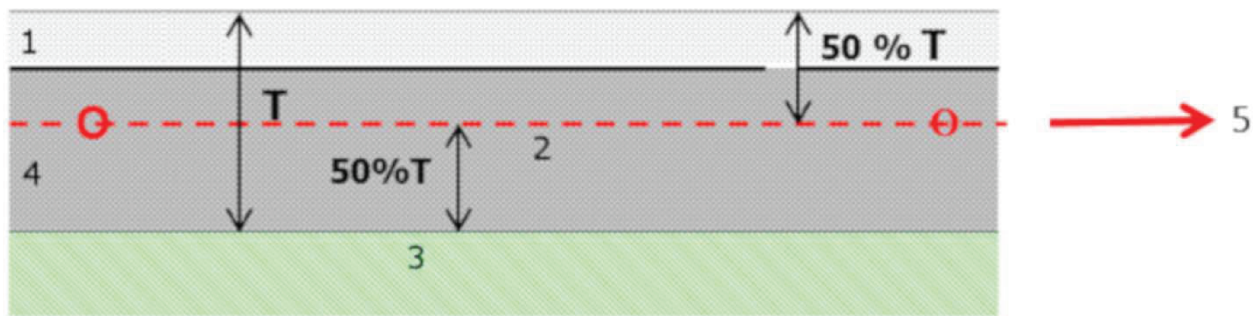
Anmerkung 2 zum Begriff: Um als Korrosionskrater angesehen zu werden, muss eine Oberflächenvertiefung mindestens zwei der vorstehend angegebenen Merkmale aufweisen.

3.2.3

MAO-Schicht

Schicht, die aus einer brüchigen/porösen Schicht und einer Funktionsschicht besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.



Legende

- 1 brüchige/poröse Schicht
- 2 Hartkeramik (hauptsächlich $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)
- 3 Aluminium
- 4 Funktionsschicht
- 5 ursprüngliche Oberfläche

Bild 1 — MAO-Schicht

3.2.4

Funktionsschicht

funktionaler und harter Teil der Beschichtung, geeignet für Verschleißanwendungen und Lackhaftung (porös)

4 Allgemeine Grundsätze des Verfahrens

4.1 Zweck des Verfahrens

Bei der Plasma-Elektrolytoxidation (PEO, en: Plasma Electrolytic Oxidation) oder dem Mikrolichtbogen-schweißen (MAO, en: Micro Arc Oxidation) handelt es sich um einen elektrochemischen Anodisierungsprozess, der auf Mikroentladungen auf der Oberfläche von in einen Elektrolyten eingetauchten Komponenten basiert. Das Verfahren wird auf Aluminium, Titan und Magnesium angewendet, um eine dichte Keramikoxidschicht zu erzeugen, die die mechanischen, verschleißbezogenen, thermischen, dielektrischen und korrosiven Eigenschaften verbessert.

An ein Metallteil, das in ein Elektrolytbad eingetaucht ist, wird ein hoher geregelter Wechselstrom angelegt. Durch diesen Strom und die daraus resultierende hohe Spannung entstehen Mikroentladungen sowie ein intensives Plasma auf der Metalloberfläche. Dieses Plasma führt zum Oxidieren der Oberfläche des Teils, und aus dem Substratwerkstoff wächst eine keramische Oxidschicht. Die Oxidschicht wird durch eine Oxidation unter der Oberfläche erzeugt. Dadurch können mit dem Verfahren sehr dicke Beschichtungen mit unterschiedlicher Porosität erzeugt werden.

Diese Spezifikation gilt für Aluminium und Aluminiumlegierungen.

4.2 Anwendbarkeit

4.2.1 Typ A: Wie verarbeitet

Diese Art der Beschichtung kann lackiert werden.

4.2.2 Typ B: Nach Strahlen

Ist für Verschleißanwendungen vorgesehen.

Diese Art der Beschichtung kann lackiert werden.

4.2.3 Typ C: Nach spanender Bearbeitung

Ist entweder für Verschleiß- oder Erosionsanwendungen vorgesehen, wenn engere geometrische Toleranzen erreicht werden dürfen.

4.3 Anwendungsgrenzen

Alle Prozesse, durch die die Oxidschicht beeinträchtigt werden kann, wie Formgebung und Wärmebehandlung, müssen vor der Oberflächenvorbehandlung der zu oxidierenden Teile durchgeführt werden.

Das Oxidieren sollte nicht angewendet werden:

- in Zonen/Bereichen, die die elektrische Leitfähigkeit sicherstellen;
- bei Rohren, Leitungen und Öffnungen mit einem Länge-Durchmesser-Verhältnis größer als 5 : 1 (es sei denn, es wird eine spezifische Kathode verwendet);
- bei Hohlräumen mit einem Länge-Durchmesser-Verhältnis größer als 5 : 1;
- bei Teilen oder Baugruppen (z. B. punktgeschweißt und genietet), in denen Behandlungslösungen dauerhaft eingeschlossen werden können (ausgenommen sind Bauteile, die angemessen abgedeckt werden können).

Die Bildung einer Oxidschicht beeinflusst die Maße des Teils und ist bei Teilen mit engem Toleranzbereich zu berücksichtigen (Wachstum 1/3 der Dicke).

4.4 Klassifizierung

4.4.1 Systemtypen

Die MAO-Schicht wird durch die drei folgenden Typen klassifiziert:

- Typ A: wie verarbeitet;
- Typ B: nach Strahlen;
- Typ C: nach spanender Bearbeitung.

4.4.2 Schichtdicken

Siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 — Schichtdicken entsprechend dem Klassentyp

Klassentyp	Typische Dicke der MAO-Schicht	Typentsprechung	Typische Enddicke	Anwendungsempfehlung
Klasse 1	30 µm bis 60 µm	Typ A	30 µm bis 60 µm	für Lackieranwendung hohe Rauheit
Klasse 2	60 µm bis 120 µm	Typ A	60 µm bis 120 µm	für Korrosionsanwendung keine spezifische Oberflächenbeschaffenheit erforderlich
		Typ B	50 µm bis 90 µm	
Klasse 3	100 µm bis 200 µm	Typ C	60 µm bis 100 µm	für Korrosionsanwendung geringer Reibungsbeiwert enge Toleranzen optimierte Oberflächenbeschaffenheit

5 Anforderungen an das Verfahren

5.1 Angaben für den Verarbeiter

- Bezeichnung des Typs und der Klasse.
- Referenznorm des Substrats und Wärmebehandlung.
- Zu schützende Flächen.
- Messpunkte für die Dicke der Oxidschicht.
- Elektrische Kontaktpunkte oder Bereiche, in denen diese nicht zulässig sind.
- Festlegung hinsichtlich des Prüfens an Teilen und/oder Probekörpern.

5.2 Verfahrensablauf (Information)

- 1) Nur für Typ C: Anschleifen des zu beschichtenden Bereichs (auf das erforderliche Endmaß).
- 2) Alkalische Entfettung oder Entfettung mit Lösemittel.
- 3) Befestigen des Teils auf der Spannvorrichtung zum Abdecken und Behandeln.
- 4) Mikrolichtbogenoxidation.
- 5) Spülen.
- 6) Nur für Typ B: Glaskugelstrahlen: Entfernen der brüchigen/porösen Schicht.
- 7) Nur für Typ C: Nachschleifen.

5.3 Prozessbedingungen

5.3.1 Werkzeuge

Die Werkzeuge, Schienen, elektrischen Kontaktsysteme und Abdeckwerkzeuge aus Metall müssen frei von Oxidation/Korrosion oder anderen Schäden sein, die während der Anwendung die Behandlung beeinträchtigen können. Die Teilegestelle und Werkzeuge müssen so konstruiert und vorbereitet sein, dass folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Jeglicher Einschluss von Luft oder Behandlungslösung in den Teilen wird vermieden.
- Das Neutralisieren und Entfernen von Lösungen während der Spülvorgänge wird erleichtert.
- Die elektrischen Kontakte müssen für den bestimmungsgemäßen Stromdurchgang in einem guten Zustand gehalten werden.
- Jeglicher versehentliche Kontakt zwischen den zu behandelnden Teilen und der Badausrüstung oder den Elektroden und zwischen den unterschiedlichen Teilen wird während des gesamten Prozesses vermieden.
- Elektrische Kontaktstellen sollten zwischen Käufer und Verarbeiter vereinbart werden. Die Verwendung von Schrauben, Befestigungen an Bereichen mit Gewinden oder mechanischen Spannvorrichtungen als elektrische Kontaktfläche wird empfohlen, um einen festen Kontakt zu sicherzustellen.
- Die Aufspannvorrichtungen (z. B. aus Aluminiumlegierung oder Titan) müssen einen wirksamen elektrischen Kontakt mit den Teilen herstellen.
- Der Kontakt wird vorzugsweise an mehreren Stellen hergestellt, um eine bessere Stromverteilung sicherzustellen.

Die Verwendung von passenden Elektroden ist notwendig, um eine bessere Dickenverteilung sicherzustellen. Diese Elektroden sollten aus korrosionsbeständigem Stahl hergestellt sein (andere leitfähige Materialien können verwendet werden, sofern deren Verträglichkeit mit dem Elektrolyten nachgewiesen wird).

5.3.2 Abdecken

Vor dem Abdecken müssen die Teile zumindest entfettet werden.

Die Bereiche der Teile, die nicht beschichtet werden dürfen, müssen mit abgedichteten mechanischen Abdeckvorrichtungen abgedeckt werden, um jegliche Leckage zu vermeiden.

5.3.3 Oberflächenvorbehandlung

Die Vorbereitung der Oberfläche umfasst jegliche Verfahren, die dazu geeignet sind, alle Oberflächenverunreinigungen vollständig zu beseitigen.

Das Beizen ist für dieses Verfahren nicht erforderlich.

5.3.4 Mikrolichtbogenoxidation

5.3.4.1 Merkmale des Generators

Folgende Merkmale des Generators werden empfohlen:

- Spannungsbereich: 400 V bis 1 000 V;
- Generatortyp: gepulster bipolarer Stromgenerator;

- Unterstützung von Automatikprogrammen mit mehreren Stufen (unterschiedliche Frequenzen und/oder Signalwellen).

Sofern mit dem Originalgerätehersteller keine anderslautende Vereinbarung besteht, muss eine jährliche Kalibrierung der Generatoren durchgeführt werden. In keinem Fall darf das Intervall mehr als 5 Jahre betragen.

Der Generatortyp und die zugehörigen Parameter werden vom Verarbeiter definiert, müssen aber festgesetzt werden. Der Generator muss mindestens die folgenden Parameter überwachen können:

- Stromdichte (A/dm^2);
- Verhältnis von negativer zu positiver Intensität (%);
- Frequenz (Hz);
- Verarbeitungsdauer (in Minuten);
- Wellenform des elektrischen Signals;
- Anzahl der Sequenzen.

5.3.4.2 Elektrolyt

Es muss eine wässrige Lösung auf Silikatbasis verwendet werden.

Die Silikatqualität ist ein wichtiger Parameter, und jede Änderung dieses Parameters hat eine Neuqualifizierung des Verfahrens zur Folge.

Die Temperatur muss zwischen 18 °C und 25 °C gehalten werden (Kühleinheit erforderlich).

5.3.4.3 Verarbeitungsparameter

- Die zu beschichtende Oberfläche sollte mit der Lösung in Kontakt sein. Die Verarbeitung eines Teils in einer Zelle mit Elektrolytumwälzung, um die Erneuerung des Elektrolyts an der Oberfläche des Teils sicherzustellen, ist zulässig.
- Die Teile dürfen keiner Zug-, Biege- und Torsionsspannung oder sonstigen Beanspruchungen ausgesetzt sein.
- Vor jeder Behandlung müssen die folgenden Parameter überprüft werden:
 - Zustand der für den elektrischen Kontakt verwendeten Spannvorrichtungen (z. B. Messung der elektrischen Leitfähigkeit zwischen der Spannvorrichtung und dem Teil);
 - Verschleiß der Elektrode (Maßprüfung der Elektrode);
 - Abstand zwischen der Elektrode und dem zu verarbeitenden Teil;
 - Befestigung der Elektrode.
- Die Parameter der Mikrolichtbogenoxidation (Stromdichte, Verhältnis von negativer zu positiver Intensität, Frequenz, Verarbeitungsdauer, Wellenform des elektrischen Signals, Anzahl der Sequenzen, Verhältnis der Kathoden-/Anodenoberflächen, Abstand zwischen Teil und Elektrode, Temperatur) müssen an den Werkstoff angepasst werden:
 - Die Abmessungen der Elektrode und der Position des Teils relativ zur Elektrode müssen dokumentiert und konstant gehalten werden.

- Das Kühlsystem des Bades und des Teils muss effizient sein, um eine Überhitzung während der Verarbeitung des Teils zu vermeiden.
- Während des Prozesses müssen die elektrischen Parameter sowie die Elektrolytttemperatur aufgezeichnet werden; sie müssen auf jedes Verarbeitungslos rückführbar sein.
- Im Falle einer erneuten Verarbeitung muss der alte Schutz vor der erneuten Behandlung vollständig entfernt werden (nach 5.5).

5.3.5 Nachbehandlung nach Mikrolichtbogenoxidation

Nach der Mikrolichtbogenoxidation:

- müssen die Teile hinreichend mit Wasser nach 5.3.6 gespült werden;
- müssen die Teile anschließend entweder:
 - unmittelbar nach der Behandlung getrocknet werden;
 - unmittelbar nach der Behandlung getrocknet und gestrahlt werden;
 - unmittelbar nach der Behandlung getrocknet und bearbeitet werden;
 - durch einen Anodisierungsprozess nachbehandelt werden.

5.3.6 Wasserqualität

5.3.6.1 Allgemeines

Jegliches zum Ansetzen des Bades, für die Beimengung zum Elektrolyt und für den abschließenden Spülschritt verwendete Wasser muss vollentsalzt sein.

5.3.6.2 Elektrolyt

Das Wasser muss folgende Anforderungen erfüllen:

- pH-Wert bei 25 °C: 5,0 bis 8,0;
- Rückstände insgesamt (mg/l): ≤ 5 ;
- Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$): ≤ 20 .

5.3.6.3 Spülbad

Das Wasser muss folgende Anforderungen erfüllen:

- pH-Wert bei 25 °C: 5,0 bis 8,0;
- Rückstände insgesamt (mg/l): ≤ 5 ;
- Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$): ≤ 20 .

5.4 Periodische chemische Analyse des Bades

Die Zusammensetzung der Bäder muss innerhalb der in den detaillierten Prozessanweisungen des Verarbeiters festgelegten Grenzen liegen. Die Analysenhäufigkeit muss festgelegt werden, wobei die Alterung, die Verunreinigung sowie die Wirksamkeit der Bäder, die Fertigungsgeschwindigkeit, das Erscheinungsbild und das Neueinstellen oder das Auffüllen der Bäder zu berücksichtigen sind.

Mindestens die folgenden Punkte müssen gemessen werden (wöchentlich, sofern keine anderslautenden Vereinbarungen mit dem Originalgerätehersteller bestehen):

- pH-Wert des Elektrolyts;
- Leitfähigkeit des Elektrolyts;
- Silikatkonzentration;
- Aluminiumgehalt;
- Eisengehalt;
- Kupfergehalt.

Wenn der Aluminiumgehalt zu hoch ist, muss das Bad teilweise entleert werden. Es wird empfohlen, eine Filtereinheit zu verwenden, um den Aluminiumgehalt zur Entfernung von Schlämmen zu reduzieren.

5.5 Erneute Verarbeitung

Die vollständige Entfernung der Oxidschicht kann durch spanende Bearbeitung erreicht werden, wobei jedoch die Maßhaltigkeit des Teils beeinträchtigt wird.

Wenn der Verarbeiter nach dem Prozess eine Unterschreitung der Schichtdicke erkennt, kann das Teil erneut verarbeitet werden, bis die erforderliche Dicke erreicht ist. Dieser Vorgang kann nach förmlicher Zustimmung des Originalgeräteherstellers einmalig durchgeführt werden und muss rückführbar sein.

5.6 Glaskugelstrahlen der brüchigen/porösen Schicht

Die folgenden Parameter müssen zwischen dem Verarbeiter und dem Originalgerätehersteller/Hersteller vereinbart und nach der Validierung festgesetzt werden:

- Medium: Typ und Größe;
- Luftdruck in der Düse;
- Abstand zwischen Teil und Sprühdüse.

Während des Prozesses müssen diese Parameter aufgezeichnet werden und auf jedes Los rückführbar sein.

5.7 Spanende Bearbeitung

Die Parameter müssen zwischen dem Verarbeiter und dem Originalgerätehersteller/Hersteller vereinbart und nach der Validierung festgesetzt werden.

Während des Prozesses müssen diese Parameter aufgezeichnet werden und sie müssen auf jedes Los rückführbar sein.

6 Anforderungen an Probekörper

6.1 Allgemeines

Prüfungen (für die Qualifizierung und periodische Prüfungen) müssen nach dem Prozess und vor der mechanischen Nachbehandlung an Probekörpern, die aus dem Bad kommen, durchgeführt werden.

Oberflächenbeschaffenheit der Probekörper: $R_a < 0,8 \mu\text{m}$, Oberfläche $\geq 1 \text{ dm}^2$.