

ANOFOL im Detail
Anodisieren, Wickeln, Spalten

Technische Vorteile von Bandspulen aus ANOFOL

Die Eigenschaften sowohl des Aluminiums als auch des Oxides ermöglichen die Produktion von Spulen, die gegenüber Kupferdrahtspulen eine Reihe von beachtenswerten Vorteilen aufweisen.

Einsatz auch bei hohen Temperaturen

Da die Oxidschicht bei 2000 °C und Aluminium bei 658 °C schmelzen, ist es möglich, eloxierte Aluminiumbandspulen bei 500 °C Dauertemperatur einzusetzen. Im Vergleich hierzu erfordert der Einsatz von Kupfer bei Temperaturen von über 180 °C wegen der Verzunderung und dem damit verbundenen Zerfall des Leiters den Einsatz von speziell vorbehandelten Drähten. So kommen z. B. für Betriebstemperaturen von über 180 °C nur vernickelte oder versilberte Drähte zur Anwendung, wobei die Isolation des Drahtes noch ein besonderes Problem ist. Abgesehen von der Tatsache, dass es nur wenige Isolierstoffe für diesen Temperaturbereich gibt, bleibt in jedem Fall das Problem des Isolationsvolumens gegenüber Bandspulen aus eloxiertem Aluminium.

Bessere Wärmeableitung

Bei einer Spule aus lackiertem Kupferdraht wird der Wärmefluss von der Mitte der Wicklung erheblich behindert. Aufgrund der mangelhaften Wärmeleitfähigkeit sowohl der Isolation als auch der Lufteinschlüsse kann es leicht zu einem Hitzestau kommen, der zur Zerstörung der Spule führt. Bei einer Spule aus eloxiertem Aluminiumband wird die in der Mitte der Wicklung erzeugte Wärme schneller nach außen abgeführt, da die Windung einen Teil der wärmeableitenden Außenfläche darstellt.

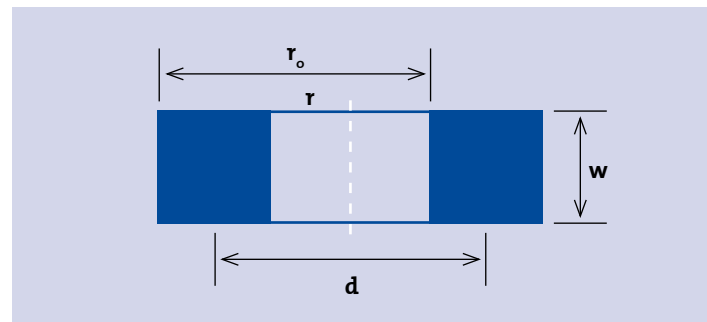
Geringere Betriebstemperatur

Die Oberfläche einer leitwertgleichen Aluminiumbandspule ist 27% größer, was neben der größeren Wärmekapazität von Alu-

minium ebenfalls dazu beiträgt, dass Aluminiumbandspulen geringere Betriebstemperaturen erreichen. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit und das Wärmeabstrahlungsvermögen der Oxidisolations wesentlich besser als bei herkömmlichen Isolationen, so dass selbst eine Spule aus lackiertem Kupferband keinen solchen Wirkungsgrad der Wärmeübertragung aufweist.

Keine Lagenisolation notwendig

Da bei einer Wicklung aus eloxiertem Aluminiumband die Windungen fest übereinander liegen, entstehen kaum Lufträume. Eine Lagenisolation, wie sie bei Drahtspulen notwendig ist, entfällt, da die Windungsspannung gleich der Lagenspannung ist. Die Isolationsschicht ist bei einem lackierten Draht wesentlich dicker. Infolgedessen liegt der Füllfaktor für Bandspulen aus eloxiertem Aluminium im Bereich von 0,85 bis 0,995, während er für Spulen aus lackiertem Kupferdraht zwischen 0,25 und 0,65 liegt. Bei einer Spule aus eloxiertem Aluminiumband mit einem Füllfaktor von 0,85 kann mathematisch nachgewiesen werden, dass eine äquivalente Spule aus Kupferdraht den Füllfaktor 0,52 hätte. Hat eine Kupferspule jedoch einen niedrigen Füllfaktor, so ist es möglich, unter Verwendung von eloxiertem Aluminiumband eine kleinere Spule zu entwickeln.



Länge des Leiters $l = \pi d N$ (cm)

N – Zahl der Windungen

Querschnitt des Leiters = A

$A = [w \pi (r_o^2 - r^2) k] / l = \text{cm}^2$

Füllfaktor = k

Typische Werte von k für Cu = 0,25 – 0,65, Al = 0,85 – 0,995

Widerstand $R = (\rho \times l) / A$

$R_{Al} = [2,8264 \times 10^{-6} \pi (d N)^2] / [w (r_o^2 - r^2) k_{Al}] = \text{Ohm}$

$R_{Cu} = [1,7241 \times 10^{-6} \pi (d N)^2] / [w (r_o^2 - r^2) k_{Cu}] = \text{Ohm}$

Für $R_{Al} = R_{Cu}$ – Alle Spulenabmessungen sind gleich und wenn $k_{Al} = 0,85$ ist $k_{Cu} = 0,52$.

Wenn $k_{Cu} < 0,52$ ist, ist die Aluminiumspule kleiner.

Das spezifische Gewicht von Aluminium liegt bei ungefähr einem Drittel des spezifischen Gewichtes von Kupfer. Der elektrische Widerstand von querschnittsgleichem Aluminium liegt um den Faktor 1,61 höher. Konstruiert man eine leitwertgleiche Spule aus Aluminiumband, so ist das Gewicht bei gleicher Windungszahl und gleichem Widerstand nur halb so groß wie das einer Kupferspule.

Leitervolumen = $V = l A = w \pi (r_o^2 - r^2) k$

Gewicht = γV

Die Kupferspule hat die gleichen Abmessungen wie die Aluminiumspule, wenn $k_{Cu} = 0,52$, $k_{Al} = 0,85$

Gewicht – Kupferspule = $8,89 w (r_o^2 - r^2) 0,52$

Gewicht – Aluminiumbandspule = $2,7 w (r_o^2 - r^2) 0,85$

Das Gewicht der Aluminiumbandspule ist dann = $(2,7 \times 0,85) / (8,89 \times 0,25) \times$ Gewicht der Kupferspule = $0,496 \times$ Gewicht der Kupferspule.

ANOFOL – Qualität ist kein Zufall

Eloxiertes Aluminium

Die Isolationseigenschaften vom Aluminiumoxid sind schon sehr lange bekannt. Aus dem Jahr 1898 stammen die ersten Vorschläge zur Herstellung von isolierenden Überzügen auf Aluminiumdrähten. Es dauerte jedoch noch weitere 12 Jahre, bis der erste Lasthebemagnet mit der Aluminiumoxid-Isolierung eingesetzt wurde.

Anodisieren

Die anodische Oxidation – in Deutschland besser bekannt als „Eloxal-Verfahren“ – ist der Vorgang des zeitlichen und in seiner Intensität steuerbaren Prozesses der Oxidbildung auf Aluminium. Dieses Verfahren ist für fast sämtliche Bereiche der Elektrotechnik ganz besonders attraktiv, da Aluminium über einzigartige Eigenschaften verfügt. Steinert nutzt diese Funktionen des Aluminiums für ANOFOL und bietet seinen Kunden erstklassiges Leitermaterial an.

Der Oxidationsprozess

Vereinfacht dargestellt, funktioniert der Oxidationsprozess wie folgt: Bei anodischer Polarisierung von Aluminium in einem Elektrolyten, z. B. Schwefelsäure, entsteht an der Anode Sauerstoff, der mit dem Aluminium reagiert. Dabei bildet sich Aluminiumoxid. Die Oberfläche der Aluminiumanode wandelt sich also in die Oxidschicht um, die fest auf der Metalloberfläche verankert ist und an dieser haften bleibt. Sie ist so fest mit dem Grundstoff verbunden, dass es selbst mit mechanischen Mitteln nicht möglich ist, auch nur splitterweise Teile von Ihrer metallischen Grundlage zu lösen.

Diese kompakte Grundschicht bildet einen Widerstand für den Stromdurchgang und wird durch die angelegte Bandspannung

durchschlagen. Es entstehen Durchschlagporen, in die Elektrolyt eindringt. Dadurch schreitet der Oxidbildungsprozess fort. Unzählige Poren entstehen, die Schicht „wächst“ in das Metall hinein. Um die Poren zu schließen und damit der Oxidschicht eine größere Beständigkeit gegen jede Art von Feuchtigkeit zu geben, wird das frisch eloxierte Band noch nachbehandelt. Die durch dieses Verfahren hergestellten Eloxal-Schichten sind stärker und widerstandsfähiger als die auf natürlichem Wege entstandenen Schichten.

Technische Information

- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Isolierstoffklasse C
- Gewichtsvorteile
- Grundmaterial Rein-Aluminium Al 99,5 und E-Al 99,7
- Oberfläche walzblank / mill finish
- Härte nach Kundenwunsch hart oder weich

Physikalische Eigenschaften von Al

- Al Schmelzpunkt 659 °C
- Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient $23,5 \times 10^{-6}/K$
- Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes zwischen 1 und 100 °C $0,004 K^{-1}$
- Dichte $2,7 \text{ kg/dm}^3$
- Zugfestigkeit $70-180 \text{ n/mm}^2$
- Wärmeleitfähigkeit $2,3 \text{ W/cm} \times K$
- Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C je nach Härte $34-36,5 \text{ m/Ohm} \times \text{mm}^2$
- Spez. elektrischer Widerstand bei 20 °C je nach Härte $2,92-2,73 \times 10^{-6} \text{ Ohm} \times \text{cm}$
- Mittlere spez. Wärmekapazität zwischen 1 und



- 100 °C $0,92 \text{ J/g} \times K$
- Elastizitäts-Modul (Mittelwert) $7 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$

Physikalische Eigenschaften der Oxidschicht – Al_2O_3

- Härte ähnlich Korund (HV 250-350)
- Hohe Verschleiß- und Griffestigkeit
- Dielektrizitätskonstante 7-8
- Isolationseigenschaften je nach Oxidschichtstärke

Standard-Lieferprogramm Folien und Bänder

- Farbe: Natur
- Materialdicken: $0,05 - 1,5 \text{ mm}$
- Materialbreiten: $3 - 260 \text{ mm}$, jedoch max. Querschnitt 150 mm^2
- Folien-Standarddicken: $50 - 60 - 70 - 80 - 100 - 115 - 125 - 135 - 150 - 175 - 200 - 250 \mu\text{m}$
- Bänder-Standarddicken: $0,30 - 0,35 - 0,40 - 0,45 - 0,50 - 0,55 - 0,60 - 0,65 - 0,70 - 0,80 - 0,90 - 1,00 - 1,10 - 1,20 - 1,25 - 1,40 - 1,50 \text{ mm}$
- Weitere Abmessungen auf Anfrage.

STEINERT – Professionelle Qualität

Spezielles Schneide- und Kantenvorbereitungsverfahren

Eine große Herausforderung für die Hersteller von eloxiertem Aluminium stellt die oft mangelhafte Beschaffenheit der Kanten von herkömmlichen geschnittenen Aluminiumbändern dar. Diese scharfen Kanten sorgen für Nachteile: Es können Beschädigungen an den Eloxal-Schichten der nachfolgenden Spulen entstehen und die Feldstärke kann sehr hohe Werte annehmen, was zu Spannungsüberschlägen und Kurzschlüssen führen kann. Steinert hat zusammen mit führenden Walzwerken eigens für ANOFOL ein spezielles Kantenverarbeitungsverfahren entwickelt. Mit Hilfe dieses Verfahrens werden nach dem Schneiden die noch vorhandenen Grate beseitigt und das Kantenprofil wird abgerundet.



Spalten

Die Spaltanlage zur Produktion von ANOFOL Bändern wurde eigens zum Spalten von Aluminiumbändern optimiert. Hierdurch wird ein Höchstmaß an Wirtschaftlichkeit und Präzision ermöglicht. Mit der von Steinert verwendeten Spaltanlage wird ein optimales Spaltergebnis erzielt, das auch höchsten Ansprüchen gerecht wird.

Kaltpress-Schweißen

Das Kaltpress-Schweißen ist die einfachste und kostengünstigste Methode zur Erzeugung von elektrischen Verbindungen. Hierbei wird Metall nur durch Einsatz von Druck bei Raumtemperatur verbunden.

Denn wenn Metalle unter großem Druck gezwungen werden zu fließen, ist es möglich, Moleküle getrennter Stücke in derart engen Kontakt zu bringen, dass sie sich vereinigen. Die Stücke fließen an ihrer Oberfläche zusammen, wobei eine vollkommene und echte Verschweißung stattfindet.

Verbindungen dieser Art haben sich sehr bewährt, sowohl vom mechanischen als auch vom elektrischen Standpunkt her. Ein Belastungsversuch mit einem Verbindungsband 10 x 1 mm und 17 Pressstellen ergab bei 100 A/50 Hz einen Spannungsabfall von weniger als 2 mV zwischen der ersten und letzten Pressstelle, und es wurde keine erkennbare Erwärmung festgestellt.

Ultraschallschweißen

Metallurgisch gesehen ist das Ultraschallschweißen ein Kaltschweißprozess. Die durch die Ultraschallenergie erzeugte Wärme trägt nur unwesentlich oder überhaupt nicht zum Entstehen der Verbindung bei. Im Gegensatz zum Kaltpressschweiß-

verfahren wird beim Ultraschweißverfahren mit erheblich geringerem Anpressdruck gearbeitet. Der Ultraschweißvorgang wird allgemein als Reibschweißung dargestellt und eignet sich zum Verbinden von Aluminiumfolien und dünnen Aluminiumbändern mit den meisten in der Elektrotechnik vorkommenden Metallen.

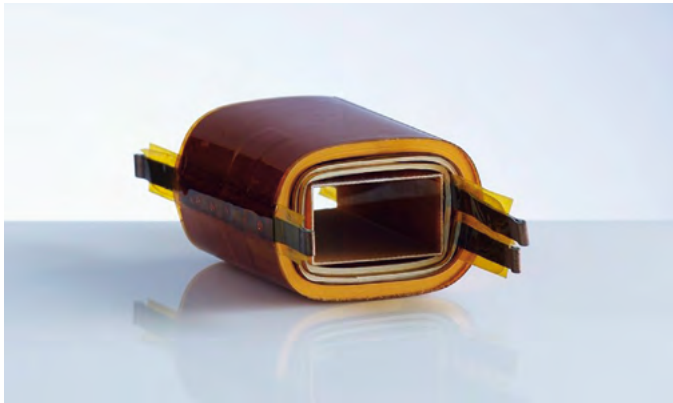
Wickeln

Vorteile durch optimale Wickeleigenschaften: Zur Steigerung der Produktivität hat sich bei Transformatoren und Drosseln im oberen Leistungsbereich die Bandwickeltechnik durchgesetzt. Nun stellt sich die Frage nach der unteren Leistungsgrenze für diese Wickeltechnik.

Um eine sinnvolle und wirtschaftliche Leiterbanddicke nicht zu unterschreiten, ist bei gegebener Bandbreite ein minimaler Leiterquerschnitt erforderlich.

Die Eigenschaften sowohl des Aluminiums als auch des Oxides ermöglichen die Produktion von Spulen, die gegenüber Kupferdrahtspulen eine Reihe beachtenswerter Vorteile aufweisen:

- größerer Füllfaktor
- bessere Wärmeableitung
- höhere Unempfindlichkeit gegen thermische Belastung
- geringere Fertigungskosten
- kürzere Fertigungszeiten



Enorme Kostenvorteile

Soll das Aluminiumband den gleichen Leitwert und somit gleiche Verluste haben wie der Kupferdraht, so muss der Querschnitt 60% größer sein. Dank besserer Kühlverhältnisse dürfen die Verluste bei gleicher Erwärmung jedoch um 25% größer bzw. der Leiterquerschnitt 25% kleiner sein. Oder der Querschnittfaktor muss statt 1,6 lediglich $0,75 \times 1,6 = 1,2$ betragen.

Wenn alle Vorteile, die ANOFOL bietet, optimal genutzt werden, ist ein Kostenvorteil gegenüber einer technisch gleichen Spule aus herkömmlichem Kupfer-Profildraht von bis zu 50% und mehr möglich.

Lagerhaltung Rohmaterial

Aufgrund unserer umfangreichen Lagerhaltung von Muttercoils in 800 mm Breite in einem modernen Hochregallager können wir auch große Mengen in unseren Standarddicken kurzfristig liefern.

Mindestmengen

Es besteht auch die Möglichkeit der Lieferung von Kleinmengen. Abmessungsspezifisch sind Mengen ab 50 kg lieferbar.

Verpackung

Durch eine nachgeschaltete Verpackungslinie ist eine einheitlich, transportsichere und qualitativ hochwertige Verpackung garantiert.

Lohnspalten

Unter anderem bieten wir auch die Möglichkeit, **von Ihnen bestelltes Aluminiumband nach Ihren Vorgaben** längs zu teilen. Dieses Angebot gilt für alle Aluminiumlegierungen in dem genannten Dicken- bzw. Breitenspektrum.

Lieferzeit

Rohspaltband sowie auch ANOFOL in Abmessungen unseres Längenspektrums sind im Regelfall bei Mengen bis zu 5 Tonnen pro Dicke in maximal 3 Wochen lieferbar.

Toleranzen

Die gewünschte Dicken- und Breitentoleranz kann auf halbe Toleranz der EN 485-4 bzw. EN 546-3 minimiert werden.

Qualität

Alle ausgelieferten Spaltbänder unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle.

Lieferspektrum Eigenlager ANOFOL

- Grundmaterial
Rein-Aluminium: Al 99,5 und E-Al 99,7
- Härte nach Kundenwunsch: hart oder weich
- Oberfläche: walzblank / mill finish

Folien und Bänder

- Materialdicken: 0,05 – 3,0 mm nach DIN 1784 EN
- Materialbreiten: 3,0 – 800 mm
- Folien-Standarddicken: 50 – 60 – 70 – 80 – 100 – 115 – 125 – 135 – 150 – 175 – 200 – 250 µm
- Bänder-Standarddicken: 0,30 – 0,35 – 0,40 – 0,45 – 0,50 – 0,55 – 0,60 – 0,65 – 0,70 – 0,80 – 0,90 – 1,00 – 1,10 – 1,20 – 1,25 – 1,40 – 1,50 mm





Spalt- und Lieferservice für Rohspaltband aus Aluminium

- Eloxiertes Aluminiumband
- Einzelspulen, Spulen in Klein- und Großserien
- Aluminium-Spaltband aus Al 99,5 sowie E-Al 99,7

STEINERT Elektromagnetbau GmbH
Geschäftsbereich ANOFOL
Widdersdorfer Str. 329-331
D-50933 Köln
Tel. +49 (0) 221 49 84-159
Fax +49 (0) 221 49 84-103
anofol@steinert.de
www.anofol.de