

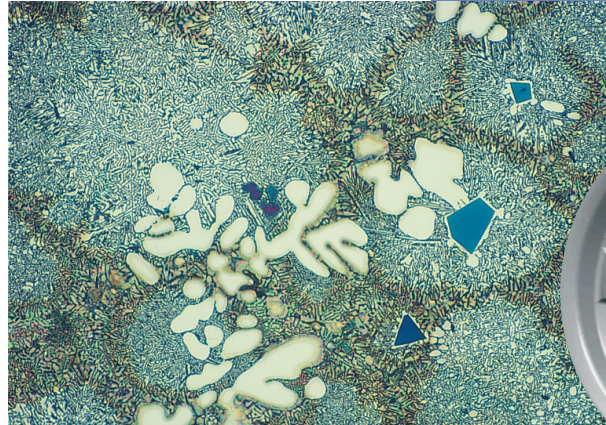
Metallografische Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Im Gegensatz zu anderen bekannten Metallen wie Eisen oder Kupfer ist Aluminium noch relativ jung und erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts bekannt. 1886 wurde ein Verfahren zur Herstellung von Aluminium entwickelt, das bis heute noch verwendet wird: der Hall-Heroult-Prozess.

Aluminium ist silbrig weiß, sehr leicht, und findet als reines Metall und legiert vielfältige Verwendung. Schon mit geringen Mengen von Legierungszusätzen wird eine Festigkeitssteigerung erreicht. Wegen ihrer geringen Dichte sind Aluminiumlegierungen besonders geeignet für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt. Auch im Automobilbau werden vermehrt Aluminiumlegierungen eingesetzt, um Gewichtsreduzierungen zu erzielen.

Die gute Korrosionsbeständigkeit des Aluminiums beruht auf einem passiven Film aus Aluminiumoxid, der fest mit der Oberfläche verbunden ist und sich bei einer Oberflächenverletzung spontan erneuert. Dadurch eignet sich Aluminium für polierte oder gebürstete Oberflächen in verschiedenen Farben (Eloxieren) und es wird dadurch u.a. zu einem interessanten Werkstoff für die Bauindustrie.

Zusätzlich ist Aluminium sehr wärmeleitfähig, gut gießbar, warm- und kalt verformbar und es ist gut spanabhebend zu bearbeiten. Aluminium ist ungiftig und geschmacksneutral und wird deswegen in der Lebensmittel- und Verpackungsindustrie verwendet, u.a. für Dosen und Folien oder in Bäckereimaschinen und Getränkepumpen.



Aluminium-Silizium-Guss, Farbätzung mit Molybdänsäure, 200x.

Auf pulvermetallurgischem Weg werden neue Legierungen wie z.B. Al-Li und Ti-Al hergestellt und Aluminium wird als Matrixmaterial für Verbundwerkstoffe verwendet. Es wird auch in Zukunft als vielseitiger Werkstoff noch weitere Anwendungsgebiete eröffnen.

Die Metallografie wird in der Qualitätskontrolle zur Korngrößenbestimmung und zum Nachweis von Gefügefehlern (Anschmelzungen) am polierten und geätzten Schliff eingesetzt. Zusätzlich werden Verunreinigungen wie Oxide und Zirkonaluminide bestimmt (Abb. 2). Bei Knetlegierungen werden Proben auch auf Materialfehler durch den Walz- oder Pressvorgang untersucht und Plattierungsschichtdicken gemessen. Bei Gussmaterial werden die Phasenausbildung und Verteilung sowie Porosität beurteilt.



Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

- Reines Aluminium ist sehr weich und neigt zu Verformung und Kratzern.
- Siliziumkarbid- und Diamantkörner können sich in die Oberfläche eindrücken (Abb.1).

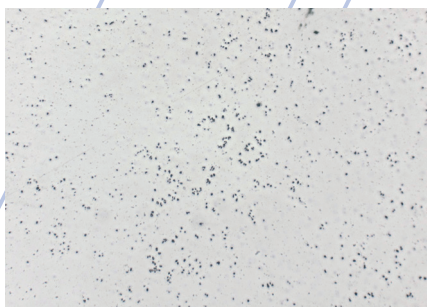


Abb. 1: Eingedrückte Diamantkörner in Reinaluminium nach dem Polieren mit 3 µm, 200x.

- Stark verformte Knetlegierungen sind schwer zu kontrastieren.



Abb. 2: Oxid an der Oberfläche eines Aluminium-Druckgussteils, 50x.

Lösung

- Das Planschleifen möglichst mit der feinsten SiC-Körnung beginnen.
- So lange diamantpolieren und/oder endpolieren bis eingedrückte Körner entfernt sind.
- Endpolitur mit Siliziumdioxidsuspension.
- Anodisieren mit Ätzmittel nach Barker

Produktion und Verwendung von Aluminium

Aluminium ist eines der häufigsten Metalle in der Erdkruste, tritt aber nicht gediegen auf, sondern nur in chemischen Verbindungen. Eine wirtschaftliche Gewinnung ist nur aus Bauxit möglich, das aus 60% Aluminiumoxid in hydroxidischer Form besteht ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$) und der Rest aus Metalloxiden (Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2). Der Produktionsvorgang ist komplex und energieintensiv und besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Gewinnung reiner Tonerde (Aluminiumoxid, Al_2O_3) aus Bauxit

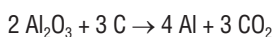
Zunächst wird das Bauxit aufbereitet. Dazu wird es fein vermahlen und mit Natronlauge unter Druck erhitzt. Dabei bilden sich ein wasserlösliches Natriumaluminat und unlösliche Verbindungen von Eisen, Titan und Silizium, der sogenannte Rotschlamm, der abgetrennt wird. Die stark verdünnte Aluminatlauge wird mit frischem Aluminiumhydroxid als Kristallisationskeim geimpft, um reines Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) aus der Lauge auszufällen. Dieses wird entwässert und bei 1200°C gebrannt, wobei reine Tonerde (Aluminiumoxid) entsteht.

Schmelzflusselektrolyse nach Hall-Heroult

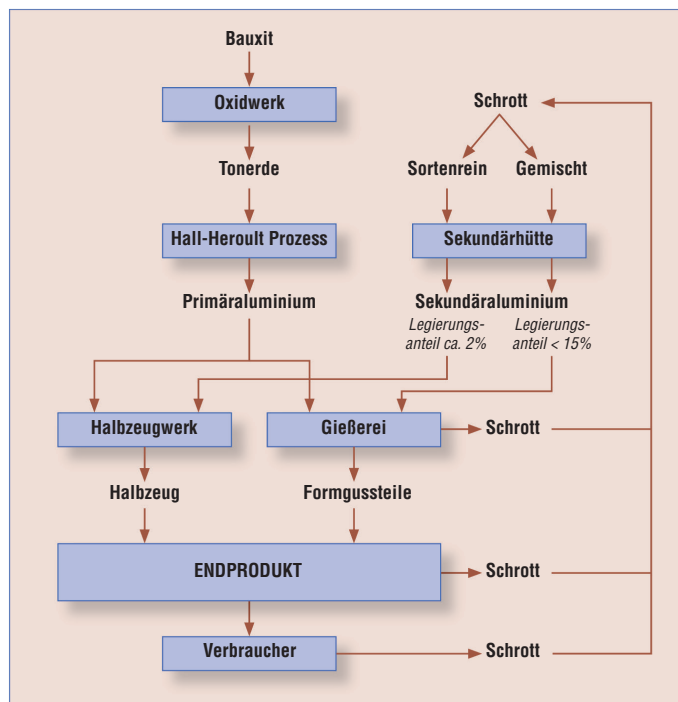
Die Bindungskräfte von reinem Aluminiumoxid sind so stark, dass es chemisch nicht zu Aluminium reduziert werden kann, sondern dazu muss ein elektrochemisches Verfahren angewandt werden. Da der Schmelzpunkt des Aluminiumoxids mit 2050°C sehr hoch ist, gibt man der Tonerde Kryolith bei, wodurch eine Schmelzpunktsenkung auf 950°C erreicht wird. Das Kryolith erhöht zusätzlich die Leitfähigkeit und dadurch die Stromausbeute.

Zur Elektrolyse bildet die Aluminiumoxid-Kryolith Schmelze den Elektrolyt in einer Eisenblechwanne, in welche Stahlschienen zur Stromführung eingesetzt sind (siehe Darstellung Schmelzflusselektrolyse).

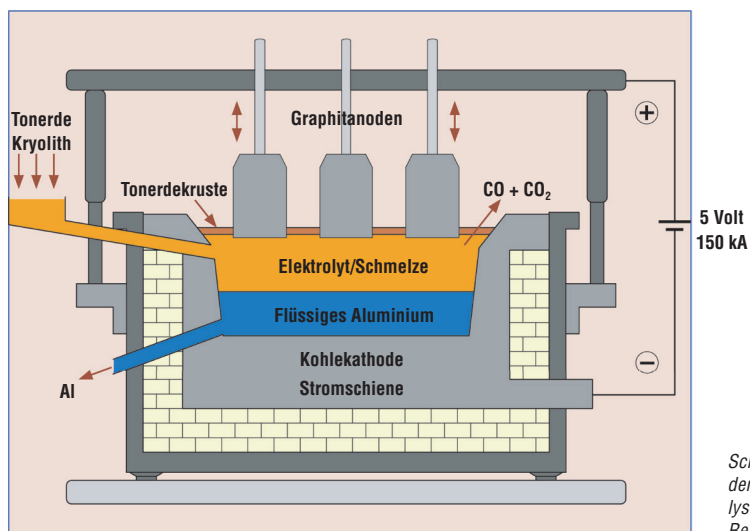
Seitenwände und Boden sind mit Kohle ausgekleidet und bilden die Kathode. Als Anoden dienen kurze Kohlenblöcke, die an einem Gerüst über der Schmelze hängen. Während der Elektrolyse reagiert der Kohlenstoff der Anode mit dem Sauerstoff der Tonerde und in einer sekundären Reaktion entsteht Aluminium unter der Bildung von Kohlendioxid:



Das flüssige Aluminium hat eine größere



Vereinfachtes Diagramm der Aluminiumproduktion.



Schematische Darstellung der Schmelzflusselektrolyse zur Erzeugung von Reinaluminium.

Dichte als die Elektrolyt-Schmelze und sammelt sich daher am Boden der Wanne. Es wird einmal am Tag abgestochen und zu Rohmasseln vergossen. Mit diesem Verfahren wird ein Reinaluminium von 99,0 - 99,9% erzeugt. Der größte Teil des Reinaluminiums wird zu Aluminiumlegierungen verarbeitet.

Durch eine nochmalige Schmelzflusselektrolyse lässt sich der Reinheitsgrad für Reinaluminium steigern, auf 99,98% für Halbzeug und auf 99,99% für Masseln. Reinaluminium hat eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eignet sich besonders gut zum Eloxieren. Es wird daher für Glanzprodukte wie Zierleisten, Reflektoren, Folien für Elektrolytkondensatoren und für Apparate und Rohrleitungen in der chemischen und Lebensmittelindustrie verwendet. Da die Kosten für das Aluminium mit zunehmender Reinheit steigen, richtet sich die Basisreinheit für ein bestimmtes Aluminium nach den Anforderungen an das daraus zu erzeugende Produkt.

Die Hauptprodukte sind Halbzeuge aus Knetlegierungen mit bis zu ca. 2% Legierungsanteilen und Gusslegierungen bis zu 15% Legierungselemente.

Es gibt eine Vielzahl von **Aluminiumlegierungen** und sie werden je nach Weiterverarbeitung in Knet- und Gusslegierungen unterteilt. In diesen beiden Gruppen unterscheiden sich wiederum aushärtbare und nicht aushärtbare (naturharte) Legierungen. Schon durch geringe Zusätze von Legierungselementen erhöht sich gegenüber dem Reinaluminium die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte. Die wichtigsten Legierungselemente sind Si, Mg, Cu, Zn und Mn. Verbindungen der Legierungselemente mit Aluminium oder untereinander (z.B. Mg_2Si , Al_2Cu , MgZn_2 und Al-Fe-Si Verbindungen) beeinflussen die Verformbarkeit. Diese zumeist eutektischen Gefügebestandteile müssen erst durch eine Warmverformung fein verteilt werden, bevor die Legierungen weiter kalt verformt werden können.



Lampen mit Reflektoren aus hochglänzendem Aluminium.

Das wichtigste Verfahren zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Aluminiumlegierungen ist die Aushärtung. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von Mischkristallen mit abnehmender Löslichkeit des Legierungselements bei sinkender Temperatur, z.B. AlCuMg und AlMgSi.

Kaltaushärten (Beispiel: AlCuMg) Nach dem Lösungsglühen wird das Werkstück abgeschreckt und anschließend bei Raumtemperatur ausgelagert. Durch das Abschrecken wird die Ausscheidung der Al₂Cu-Phase unterdrückt. Während des Kaltauslagerns ist das Aluminiumgitter bestrebt, nachträglich das in übersättigter Lösung gehaltene Kupfer auszuscheiden. Dadurch wird das Aluminiumgitter verspannt und es kommt zu einer Festigkeits- und Härtesteigerung. Die Kaltaushärtung dauert ca. 5-8 Tage.

Bei der **Warmaushärtung** (Beispiel: AlMgSi) wird das Werkstück nach dem Lösungsglühen und Abschrecken zwischen 4-48 Std. bei 120-175°C ausgelagert. Dabei blockiert die Ausscheidung der Mg₂Si-Phase die Gleitebenen des Aluminiumgitters und es kommt zu einem Anstieg der Festigkeit und Härte.

Knetlegierungen

Walzenbarren und Pressblöcke werden im Stranggussverfahren hergestellt. In vielen Fällen erfolgt nach dem Gießen ein Homogenisierungsglühen. Die Umwandlung des Gussgefüges in ein Knetgefüge erfolgt durch Warmwalzen, Strangpressen oder Schmieden. Erst nach dieser Warmumformung, bei der das verspröde eutektische Korn- bzw. Zellgrenzgerüst zertrümmert wird, ist eine Kaltumformung der Knetlegierungen möglich (Abb. 3-5).

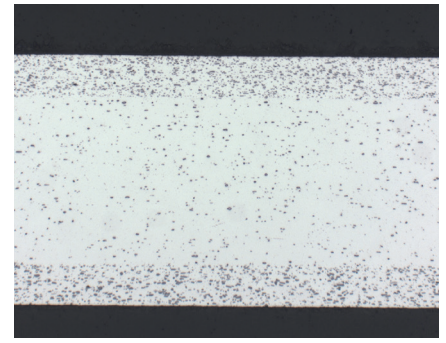


Abb. 3: Al-Legierung 2024, Gusszustand, eutektisches Korngrenzengerüst, ungeätzt, 200x.

Hauptlegierungselemente von Aluminium sind für Knetlegierungen Kupfer, Magnesium, Zink und Mangan. Silizium und Eisen beeinflussen die mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit und können je nach gewünschtem Reinheitsgrad oder Verwendungszweck Verunreinigung oder Legierungselement darstellen.

Knetlegierungen werden u.a. für Platten im Maschinen- und Formenbau verwendet; für Walzprodukte wie Bleche und Bänder und für lotplattierte Produkte wie Kühler und Wärmetauscher. Plattierte Bleche, die bestimmte mechanische Eigenschaften mit hohem Korrosionsschutz kombinieren, haben als Kern einen Barren aus einer Aluminiumlegierung der auf beiden Seiten mit z.B. reinem Aluminium belegt und ausgewalzt wird. Diese plattierten Bleche werden für spezifische Halbzeuge im Flugzeugbau verwendet, oder auch für dekorative Anwendungen, wie z.B. für Reflektoren und Zierteile.

Hochfeste Aluminium Knetlegierungen werden u.a. im Maschinenbau, der Fördertechnik, Elektrotechnik und in der Freizeit- und



Lotplattiertes Blech, Kern: Al-Legierung 3503, Plattierung: Al-Legierung 4104, ungeätzt, 100x.



Plattiertes Blech, Kern Al-Legierung 2024, Plattierung: Aluminium 99,5%, geätzt mit Dix und Keller, 50x.

Sportgeräteindustrie eingesetzt, z.B. Snowboardbindungen, Skistöcke, Zahnkränze für Mountainbikes etc.

Aluminium wird vermehrt als Matrix für Verbundwerkstoffe verwendet, wobei hier besonders die Verwendung von faserverstärktem Aluminium in der Luft- und Raumfahrt zu erwähnen ist.

Nicht aushärtbare oder naturharte Legierungen werden durch Kaltverformung verfestigt

Hauptlegierungselement	Seriennummer	Legierungsbeispiele
Mehr als 99% rein, mit Spuren von Cu, Fe, Si	1xxx	Al 99,0; Al 99,5; Al 99,85
Mn	3xxx	Al-Mn; Al-Cu-Mn-Mg
Mg	5xxx	AlMg3; Al-Mg-Mn-Cr
Andere Elemente	8xxx	Al-Fe-Si; Al-Li-Mg-Cu

Aushärtbare Legierungen werden durch Kalt- oder Warmaushärtung verfestigt

Cu	2xxx	Al-Cu-Si-Mg
Si	4xxx	Al-Si-Mg
Mg, Si	6xxx	Al-Mg-Si
Zn	7xxx	Al-Zn-Mg-Cu

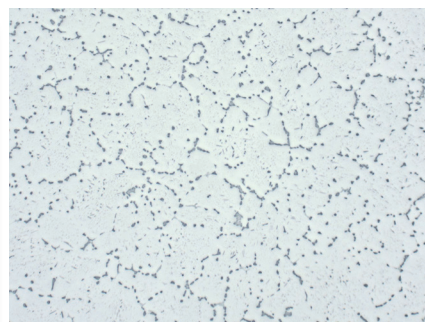


Abb. 4: Wie Abb. 3, homogenisiert, ungeätzt, 200x.



Abb. 5: Wie Abb. 4, warmgewalzt, ungeätzt, 200x.

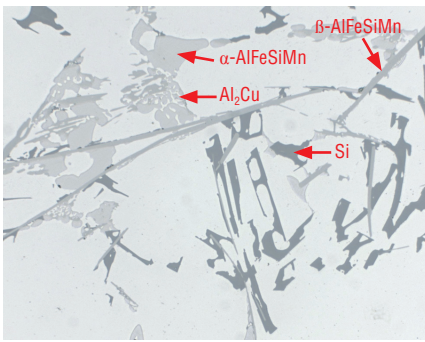


Abb. 6: AlSi6Cu4 Guss, die verschiedenen Phasen sind durch ihre Eigenfarbe zu identifizieren.

Gusslegierungen

Aluminium wird in erster Linie zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften legiert. Die Legierungen unterscheiden sich durch ihre Hauptlegierungselemente Silizium, Magnesium und Kupfer. Legierungsmengen, die über die Mischkristallsättigung hinausgehen, werden entweder als reine Elemente ausgeschieden, z.B. Silizium oder in Form von Eutektika und intermetallischen Phasen. Silizium erhöht die Gießbarkeit des Aluminiums und eutektischen Legierungen, wie z.B. AlSi12, werden zur Verfeinerung des Eutektikums vor dem Abgießen kleine Mengen von Natrium zugegeben. Durch diese „Veredelung“ scheidet sich das Silizium nicht in groben Platten und Nadeln aus (Abb.7), sondern bildet mit dem α -Mischkristall ein feines Eutektikum (Abb. 8). Bei diesen Legierungen ist die Aushärtungswirkung sehr gering, weshalb man Magnesium zulegiert, um sie aushärtbar zu machen.

Gusslegierungen werden im Sand-, Kokillen- und Druckguss hergestellt. Es gibt Legierungen mit besonderen Eigenschaften für zahlreiche Produktgruppen wie z.B. Kolben, Gleitlager, Maschinenteile, Zylinderköpfe, Bremsbacken usw.

Einige der wichtigsten Gusslegierungen und ihre Eigenschaften

AlSi10Mg	Aushärtbar, schwingungsfest, korrosionsbeständig
AlSi5Cu1	Aushärtbar, gut gieß- und schweißbar, für dünnwandige Gussstücke
AlMg3	Beständig gegen Seewasser
AlSi25 + Cu Ni	Sonderlegierung, Kolbenlegierung, aushärtbar, durch hohen Si-Gehalt verschleißfest
AlMgSiPb	Gut spanabhebend zu bearbeiten
AlSi9Cu3	Sehr gut gießbare Universalliegierung, wichtigste Druckgusslegierung

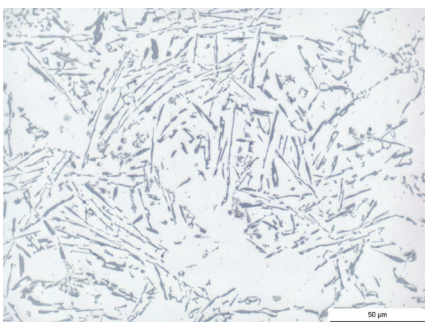


Abb.7: Aluminium-Silizium-Guss, unveredelt, 500x.

Schwierigkeiten bei der Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Mit zunehmendem Reinheitsgrad wird das Aluminium weicher und somit anfälliger für mechanische Verformung und Kratzer. Für die Präparation hat dies zur Folge, dass hochreine Aluminiumsorten während des Schleifens schon tief verformt werden. Schleif- und Diamantkörner können sich in die Schliifoberfläche eindrücken. Mit steigendem Legierungsgehalt wird das Aluminium härter und Aluminium-Gusslegierungen sind problemlos und relativ schnell zu präparieren. Es wird jedoch auch hier darauf hingewiesen, dass die Aluminiummatrix gut auspoliert werden muss, um Fehlinterpretationen zu vermeiden (Abb. 9 und 10).

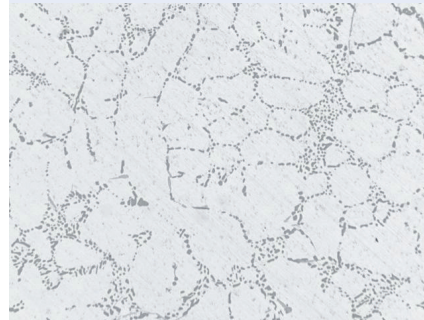


Abb. 9: Aluminium-Silizium-Guss, nach der Politur mit 3 µm Diamant sind noch feine Kratzer sichtbar, 200x.

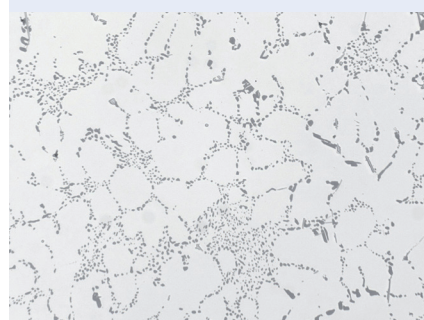


Abb.10: Wie Gefüge Abb. 9, jedoch feingepolier mit OP-U Suspension, Grundgefüge ist gut auspoliert und Eutektikum ist deutlich kontrastreicher, 200x.

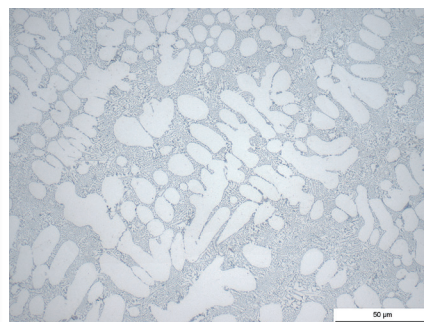


Abb. 8: Aluminium-Silizium-Guss, veredelt, mit fein ausgebildetem Eutektikum, 500x.

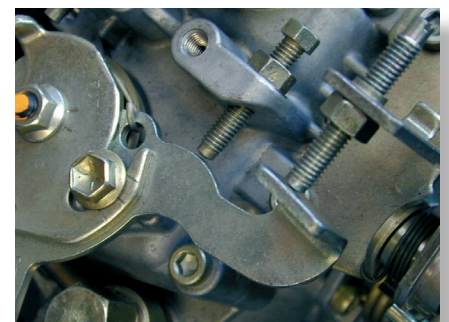
Empfehlungen für die Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Zum **Trennen** von Aluminium verwendet man eine harte Siliziumkarbid-Trennscheibe, die generell für Nichteisenmetalle geeignet ist. Als **Einbettmittel** reicht in den meisten Fällen ein Phenolharz aus. Dünne Bleche, Folien und Proben die anodisiert werden, bettet man am besten in Epoxydharz ein. Dabei lässt man beim Eingießen die Proben als Kontakte auf der Rückseite überstehen.

Mechanisches Schleifen und Polieren

Um die Verformung während des Schleifens so gering wie möglich zu halten wird empfohlen, grundsätzlich das Planschleifen mit der feinsten Körnung zu beginnen. Dabei müssen Härte, Größe und Menge der Schlitze in Betracht gezogen werden. Doch selbst bei größeren Proben aus reinem Aluminium reicht meistens Körnung 500 zum Planschleifen schon aus. Große Proben aus Gussteilen können mit Körnung 220 oder 320 geschliffen werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass der Anpressdruck ebenfalls sehr niedrig sein soll. Dadurch werden tiefe Verformungen verhindert und die Friktion zwischen Schleifpapier und Probenoberfläche reduziert, die besonders bei reinem Aluminium relativ hoch ist.

Das Diamantpolieren muss so lange durchgeführt werden, bis alle tiefen Kratzer vom Schleifen verschwunden sind. Falls wasserlösliche Gefügebestandteile identifiziert werden sollen, wird das Polieren mit wasserfreier Diamantsuspension und Schmiermittel empfohlen. Wenn während des Polierens Diamantkörner in die Probenoberfläche eingedrückt werden, kann das Endpolieren mit Siliziumdioxid relativ lange dauern (siehe Abb.1). Oft ist mit dem bloßen Auge schon zu erkennen, dass die Oberfläche an manchen Stellen matt und an anderen glänzend ist. Das deutet darauf hin, dass noch nicht ausreichend endpoliert ist. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese eingedrückten Körner zu Fehlinterpretationen des Gefüges führen können.



Ausschnitt eines Konstruktionsteils mit Aluminiumgussteilen.

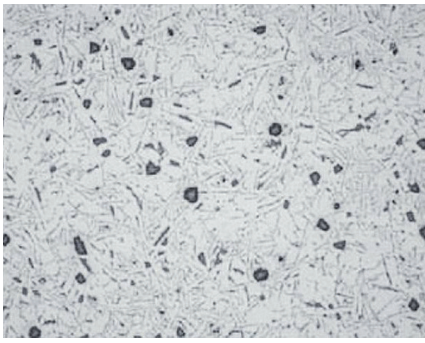


Abb.11: Aluminium-Silizium-Guss, zu lange mit OP-S Suspension poliert, Siliziumausscheidungen stehen im Relief, 100x.

Es empfiehlt sich zunächst 1 Minute mit Siliziumdioxidsuspension OP-U zu polieren und dann das Ergebnis im Mikroskop zu prüfen. Falls notwendig, nochmals 1 Minute polieren und erneut prüfen. Man kann dieses Polieren mit Siliziumdioxid so lange wiederholen bis die gewünschte Schliffqualität erzielt ist.

(Ca. 30 Sekunden vor Ende des Poliervorgangs lässt man Wasser auf das Poliertuch laufen und spült damit den Schliff und das Poliertuch ab. Danach die Probe unter fließendem Wasser nochmals gründlich reinigen und anschließend trocknen. Hinweis: Zu langes Polieren mit Siliziumoxidsuspension OP-S erzeugt ein ausgeprägtes Relief, siehe Abb.11).

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die automatische Präparation von 6 eingebetteten Proben, 30 mm, in einem Halter eingespannt.

Aluminium - Silizium Guss Schleifen

Stufe	PG	FG
Unterlage	MD-Molto	MD-Largo
Typ	Diamant	Diamant
Korngröße	#220	9 µm
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo
U/Min	300	150
Kraft (N)/ Proben	25	30
Zeit (Min.)	Bis plan	4

Polieren

Stufe	DP	OP
Unterlage	MD-Mol	MD-Chem
Typ	Diamant	Kolloidales Siliziumdioxid
Korngröße	3 µm	0.04 µm
Suspension / Lubrikant	DiaPro Mol R	OP-U NonDry
U/Min	150	150
Kraft (N)/ Proben	25	15
Zeit (Min.)	3	1

Elektrolytisches Polieren eignet sich besonders für reines Aluminium und Knetlegierungen. Es ergibt eine kratzerfreie Oberfläche und wird häufig in der Qualitätskontrolle

wegen der schnellen und reproduzierbaren Ergebnisse eingesetzt. Für routinemäßige Korngrößenbestimmungen mit 100x Vergrößerung genügt das Vorschleifen mit

Reines Aluminium Schleifen

Stufe	PG	FG 1	FG 2	FG 3
Unterlage	SiC- Folie	SiC-Folie	SiC-Folie	SiC-Folie
Typ	SiC	SiC	SiC	SiC
Korngröße	#320/500	#800	#1200	#4000
Suspension / Lubrikant	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
U/Min	300	300	300	300
Kraft (N)/ Proben	25	25	25	25
Zeit (Min.)	Bis plan	0.5	0.5	0.5

Polieren

Stufe	DP	OP	*Um grobe Kratzer zu vermeiden kann das SiC-Papier vor dem Schleifen mit Wachs eingerieben werden.
Unterlage	MD-Mol**	OP-Chem	
Typ	Diamant	Kolloidales Siliziumdioxid	**Alternativ MD-Dac
Korngröße	3 µm	0.04 µm	
Suspension / Lubrikant	DiaPro Mol R	OP-U or OP-S NonDry	
U/Min	150	150	
Kraft (N)/ Proben	25	15	
Zeit (Min.)	4	2-5	

Reines Aluminium, alternative Methode Schleife

Stufe	PG	FG
Unterlage	SiC- Folie	MD-Pan
Typ	SiC	Diamant
Korngröße	#320	15 µm
Suspension / Lubrikant	Water	DiaPro Pan
U/Min	300	150
Kraft (N)/ Proben	25	25
Zeit (Min.)	Bis plan	5

Polieren

Stufe	DP	OP
Unterlage	MD-Dac or MD/Dur	OP-Chem
Typ	Diamant	Kolloidales Siliziumdioxid
Korngröße	3 µm	0.04 µm
Suspension / Lubrikant	DiaPro Dac/Dur	OP-U or OP-S NonDry
U/Min	150	150
Kraft (N)/ Proben	25	15
Zeit (Min.)	4	2-5

*Um grobe Kratzer zu vermeiden kann das SiC-Papier vor dem Schleifen mit Wachs eingerieben werden.

SiC-Papier Körnung 1000. Für Walz- und Profilerflächen kann ganz auf das Schleifen und/oder Polieren verzichtet werden. Für reines Aluminium und genaue Bestimmung der Kornform müssen die Proben vor dem elektrolytischen Polieren bis Körnung 2000 und manchmal sogar bis 4000 fein geschliffen werden. Gusslegierungen eignen sich wegen der Vielfalt der unterschiedlichen Phasen nicht zum elektrolytischen Polieren.

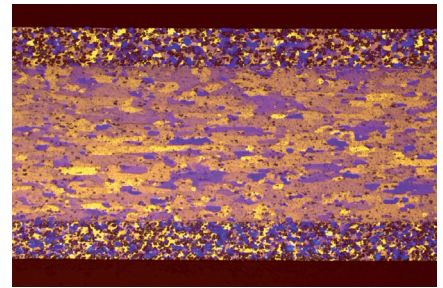


Abb.12: Lotplattiertes Blech, anodisiert, Kornflächen sind gut zu sehen und für automatische Korngrößenbestimmung geeignet, polarisiertes Licht mit $\lambda/4$ -Plättchen, 100x.

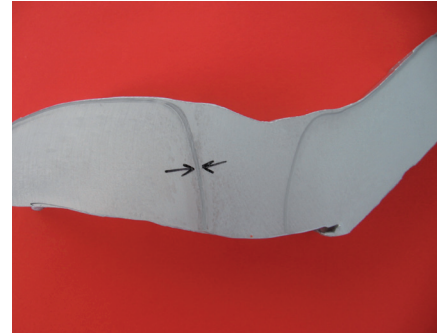


Abb.13: Pressstück, durch NaOH Ätzung sichtbar gemachte Primärausscheidungen und Heterogenitäten, die sich nachteilig auf die Oberfläche des Fertigprodukts auswirken können.

Elektrolyt:	A2
Maske:	2 cm ²
Spannung:	39 V
Fließrate:	10
Zeit:	20 sec

Ein anschließendes Anodisieren mit dem Barker-Ätzmittel ergibt eine Farbätzung, die sich besonders gut zur Korngrößenbestimmung eignet. Um den Farbeffekt zu erzielen wird polarisiertes Licht mit einem $\lambda/4$ -Plättchen verwendet (Abb.12).

Elektrolyt:	200 ml Wasser 10 ml Fluorborwasserstoffsäure (35%) (Barker)
Maske:	2 cm ²
Spannung:	24 V
Fließrate:	8
Zeit:	1-2 Min.

Ätzen und Gefüge

Makroätzungen werden z.B. für Korngrößenbestimmungen, Fließverhalten beim Strangpressen (Abb.13) und zum Sichtbarmachen von Schweißnähten angewandt. Für Makroätzungen wird die Probe bis zur Körnung 1200 oder 4000 geschliffen.

Durch die zahlreichen Legierungsmöglichkeiten des Aluminiums ergeben sich eine Vielfalt unterschiedlicher Phasen, die bei Mehrstofflegierungen oft nicht eindeutig zu unterscheiden sind. Einige der bekanntesten Phasen haben die folgenden Eigenfarben (siehe auch Abb. 6):

Si	Grau
Mg ₂ Si	Läuft beim Polieren dunkelblau an (im Guss: Chinesenschrift)
Al ₂ Cu	Rosa, kupferfarben
Al ₆ Mn	Hellgrau

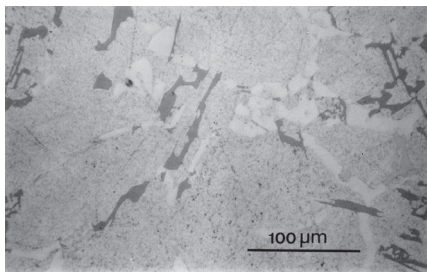


Abb. 15: Experimentelle Al-Legierung mit 6% Si und 10% Kupfer, ungeätzt.

Je nach Legierungsgehalt sind diese eutektischen Phasen manchmal auch an der typischen Ausbildung ihres Eutektikums zu erkennen. In der Literatur sind Ätzmittel angegeben, mit denen verschiedene Phasen identifiziert werden können (Abb. 15 und 16).

Knetlegierungen mit sehr stark verformtem Gefüge, z.B. von Folien und dünnen Blechen, lassen sich nur schwer durch chemisches Ätzen kontrastieren, wodurch die automatische Bildanalyse erschwert wird. Es empfiehlt sich mit Barker zu ätzen und anschließend den Schliff am Mikroskop auszuwerten, da selbst mit Barker oft der Kontrast für eine automatische Bildanalyse nicht ausreicht. Hier ist darauf hinzuweisen, dass bestimmte Spezifikationen für Knetlegierungen eine händische Korngrößenbestimmung vorschreiben, da eine Bildanalyse zu ungenau ist.

Ätzmittel

Hinweis: Beim Umgang mit Chemikalien müssen immer die empfohlenen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden.

Makroätzmittel

Für Reinaluminium	90 ml Wasser 15 ml Salzsäure 10 ml Flusssäure
-------------------	---

Tiefenätzung zum Nachweis des dendritischen Gefüges im Primärguss

100 ml Wasser 10-25g Natriumhydroxid

Mikroätzmittel

Flick:
Korngrenzenätzung für die meisten Al-Sorten und Legierungen

90-100 ml Wasser 0.1-10 ml Flusssäure
--

Dix und Keller:
Kornflächenätzung für kupferhaltige Al-Legierungen, eignet sich auch für Reinaluminium

190 ml Wasser 5 ml Salpetersäure 10 ml Salzsäure 2 ml Flusssäure

Farbätzung: Molybdänsäure-Ätzmittel nach Klemm oder Weck.

Zusammenfassung

Aluminium und seine Legierungen finden wegen der geringen Dichte, guter Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit vielfältige Anwendung u.a. im Automobilbau, in der Luft- und Raumfahrt und in der Verpackungsindustrie. Die Metallografie wird in der Qualitätskontrolle zur Korngrößenbestimmung und zur

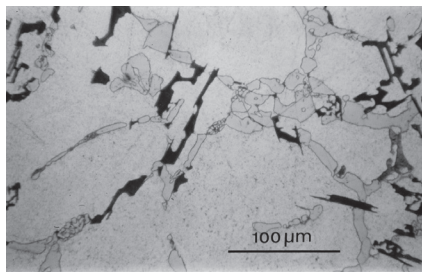


Abb. 16: Wie Abb. 15, 30 Sekunden geätzt mit 1g Ammonium-heptamolybdat in 200 ml Wasser + 6 g Ammoniumchlorid. Das dunkelblau gefärbte Silizium hebt sich deutlich von dem gräulichen-gelben CuAl₂ ab.

Beurteilung von Phasen, Verunreinigungen und mechanischen Materialfehlern eingesetzt. Reines Aluminium neigt stark zu mechanischer Verformung und das Schleifen sollte deshalb nicht mit groben Körnungen erfolgen. Beim Polieren ist darauf zu achten, dass eingedrückte Diamantkörner durch sorgfältiges Endpolieren mit Siliziumdioxid vollständig entfernt werden. Aluminiumlegierungen sind relativ schnell und einfach zu polieren. Zur Korngrößenbestimmung ist das Anodisieren mit dem Barker Ätzmittel besonders geeignet, da diese Methode einen besseren Kontrast ergibt als chemisches Ätzen. Unterschiedliche Phasen in Gusslegierungen können entweder durch ihre Eigenfarbe oder durch gezielten Einsatz von spezifischen Ätzmitteln identifiziert werden.

Autorinnen

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier
Struers A/S Kopenhagen, Dänemark

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fa. AMAG rolling GmbH, Ranshofen, Österreich, für die Abbildung der Lampen auf Seite 3 und für Probenmaterial. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dr. Reinhardt Rachlitz und Frau Petra Mersch für ihre Unterstützung.

Wir bedanken uns bei der Fa. Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen, Österreich, für die Aufnahme der Alu-Felge auf Seite 1.

Wir bedanken uns bei Thomas Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Dänemark, für die Erlaubnis zur Wiedergabe der Abb. 17.

Bibliographie

Structure 38, Thomas, Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Dänemark, A universal method for the mechanical preparation of aluminium alloy specimens with high edge retention and their subsequent colour etching.

Structure 8, Etching of aluminium alloys, Dr. Philippe Lienard, Prof. Clement Pacque, Faculte Polytechnique de Mons, Belgien.

ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004.

Metals Handbook, Desk Edition, ASM, 1997.

Informationsmaterial des Gesamtverbands Deutscher Metallgießereien e.V., Düsseldorf.



Abb. 17: Grat an einer Lotverbindung eines Wärmetauschers, vorgeätzt mit Natriumhydroxid, geätzt mit Kaliumpermanganat-Farbätzung nach Weck.



Struers A/S
Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Phone +61 7 3512 9600
Fax +61 7 3369 8200
info.au@struers.dk

BELGIQUE (Wallonie)

Struers S. A. S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)

Struers GmbH Nederland
Elektraweg 5
3144 CB Maassluis
Telefoon +31 (10) 599 7209
Fax +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA

Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5M 5M9
Phone +1 905-814-8855
Fax +1 905-814-1440
info@struers.com

CHINA

Struers Ltd.
No. 1696 Zhang Heng Road
Zhang Jiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R. China
Phone +86 (21) 6035 3900
Fax +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC

Struers GmbH
Organizační složka
Havlíčkova 361
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Phone +420 233 312 625
Fax +420 233 312 640
czechrepublic@struers.de

DEUTSCHLAND

Struers GmbH
Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
D-47877 Willich
Telefon +49 (0) 2154 486-0
Fax +49 (0) 2154 486-222
verkauf@struers.de

FRANCE

Struers S. A. S.
370, rue du Marché Rollay
F-94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

HUNGARY

Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
Tatai ut 53
2821 Gyermely
Phone +36 (34) 880546
Fax +36 (34) 880547
hungary@struers.de

IRELAND

Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel. +44 0845 604 6664
Fax +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

ITALY

Struers Italia
Via Monte Grappa 80/4
20020 Arese (MI)
Tel. +39-02/38236281
Fax +39-02/38236274
struers.it@struers.it

JAPAN

Marumoto Struers K.K.
Takara 3rd Building
18-6, Higashi Ueno 1-chome
Taito-ku, Tokyo 110-0015
Phone +81 3 5688 2914
Fax +81 3 5688 2927
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
Elektraweg 5
3144 CB Maassluis
Telefoon +31 (10) 599 7209
Fax +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

NORWAY

Struers A/S, Norge
Sjokkogenveien 44C
1407 Vinterbro
Telefon +47 970 94 285
info@struers.no

ÖSTERREICH

Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 8
5412 Puch
Telefon +43 6245 70567
Fax +43 6245 70567-78
austria@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Phone +48 12 661 20 60
Fax +48 12 626 01 46
poland@struers.de

ROMANIA

Struers GmbH
Sucursala Sibiu
Str. Scoala de Inot, nr. 18
RO-550005 Sibiu
Phone +40 269 244 558
Fax +40 269 244 559
romania@struers.de

SCHWEIZ

Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Telefon +41 44 777 63 07
Fax +41 44 777 63 09
switzerland@struers.de

SINGAPORE

Struers Singapore
627A Aljunied Road,
#07-08 BizTech Centre
Singapore 389842
Phone +65 6299 2268
Fax +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

SPAIN

Struers A/S, Spain
Camino Cerro de los Gamos 1
Building 1 - Pozuelo de Alarcón
CP 28224 Madrid
Teléfono +34 917 901 204
Fax +34 917 901 112
struers.es@struers.es

SUOMI

Struers Suomi
Kalevankatu 43
00180 Helsinki
Puhelin +358 (0)207 919 430
Faksi +358 (0)207 919 431
finland@struers.fi

SWEDEN

Struers Sverige
Ekbacksvägen 22
168 69 Bromma
Telefon +46 (0)8 447 53 90
Telefax +46 (0)8 447 53 99
info@struers.se

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel. +44 0845 604 6664
Fax +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

USA

Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Phone +1 440 871 0071
Fax +1 440 871 8188
info@struers.com