

//////////

ALUMINIUM UND ALUMINIUMLEGIERUNGEN

Fundiertes materialographisches
Know-how

APPLICATION NOTE





METALLOGRAPHISCHE PRÄPARATION VON ALUMINIUM UND ALUMINIUMLEGIERUNGEN

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

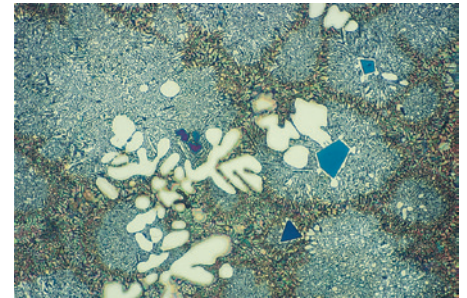
Aluminium ist silberweiß, sehr leicht und wird sowohl als reines Metall als auch in Form von Legierungen für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen eingesetzt. Bereits sehr geringe Mengen an Legierungselementen können die Festigkeit erhöhen, und aufgrund ihrer geringen Dichte eignen sich Aluminiumlegierungen besonders für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Aluminiumlegierungen werden zudem häufig in der Automobilindustrie eingesetzt, um das Fahrzeuggewicht zu reduzieren.

Die hohe Korrosionsbeständigkeit von Aluminium basiert auf einem passiven Aluminiumoxidfilm, der fest mit der Oberfläche verbunden ist. Dieser Oxidfilm ist in der Lage, sich selbstständig zu erneuern, wenn die Oberfläche beschädigt wird. Daher eignet sich Aluminium für polierte und gebürstete Oberflächen sowie für eine Eloxierung in verschiedenen Farben, was es zu einem interessanten Werkstoff für die Bauindustrie macht.

Weitere Eigenschaften von Aluminium sind seine hohe Wärmeleitfähigkeit und seine gute Verformbarkeit, sei es durch Gießen, Warm- oder Kaltverformung oder durch spanabhebende Bearbeitung. Aluminium ist ungiftig und geschmacksneutral und daher das bevorzugte Material für die Lebensmittel- und Verpackungsindustrie, zum Beispiel für Dosen und Folien oder Maschinen für Bäckereien und Getränkepumpen.

Neue Legierungen wie Al-Li und Ti-Al werden mittels pulvermetallurgischer Verfahren hergestellt, während Aluminium auch als Matrixmetall in Verbundwerkstoffen zum Einsatz kommt. Als sehr vielseitiger Werkstoff eröffnet Aluminium in Zukunft weitere Anwendungsfelder.

Die Metallographie von Aluminium wird für die Korngrößenbestimmung in der Qualitätskontrolle und für Gefügefehler an polierten und geätzten Proben eingesetzt. Außerdem werden Proben auf Verunreinigungen wie Oxide und Zirkonaluminide geprüft (Abb. 2). Bei Gusswerkstoffen werden die Form, die Phasenausbildung und -verteilung sowie die Porosität beurteilt. Bei Knetlegierungen werden Proben auch auf Materialfehler durch den Walz- oder Pressvorgang untersucht und Plattierungsschichtdicken gemessen.



Aluminium-Silizium-Guss, Farbbätzung mit Molybdänsäure.

200x



Schwierigkeiten bei der metallographischen Präparation

Reinaluminium ist sehr weich und neigt deswegen zu mechanischer Verformung und Kratzern. Siliziumkarbid und Diamantpartikel können in die Probenfläche eingedrückt werden (Abb. 1)

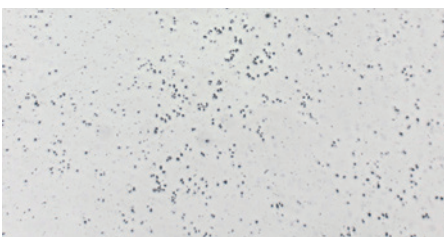


Abb. 1: Eingebettete Diamantpartikel in Reinaluminium nach Polieren mit 3 µm.

200x

Bei stark verformten Knetlegierungen lässt sich ein Kontrast nur unter Schwierigkeiten erreichen

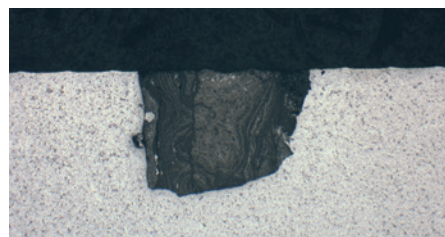


Abb. 2: Oxid auf der Oberfläche eines Aluminiumdruckgussteils.

50x



LÖSUNG

- ✓ Planschleifen mit SiC-Folie/-Papier mit der feinstmöglichen Körnung
- ✓ Die Dauer des Diamantpolierens und/oder Endpolierens muss ausreichen, um alle eingedrückten Partikel zu entfernen
- ✓ Endpolieren mit kolloidaler Si-Suspension
- ✓ Anodisieren mit Ätzmittel nach Barker

HERSTELLUNG UND ANWENDUNG VON ALUMINIUM

Aluminium ist eines der am häufigsten vorkommenden Metalle in der Erdkruste. Es kommt nicht in reiner Form vor, sondern ist in Form chemischer Verbindungen gebunden. Eine wirtschaftliche Extraktion ist nur aus Bauxit möglich, das zu 60 % aus Aluminiumoxid in Form von Hydroxid ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$) besteht, der Rest sind Metalloxide (Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2). Das Herstellungsverfahren ist komplex und energieintensiv und basiert im Wesentlichen auf zwei Schritten, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Extraktion von reinem Aluminiumoxid

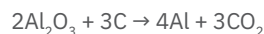
(Al_2O_3) aus Bauxit Die Gewinnung von Aluminiumoxid beginnt mit dem groben Zerkleinern und Feinstmahlen von Bauxit und anschließendem Erwärmen mit Natriumhydroxid unter Druck. Hierbei bildet sich wasserlösliches Natriumaluminat sowie unlösliche Eisen-, Titan- und Siliziumverbindungen, die als „Rotschlamm“ bezeichnet und durch Sedimentation abgetrennt werden. Der stark verdünnten Natriumaluminatlösung werden Kristallisationskeime aus frischem Aluminiumhydroxid zugesetzt, um die Ausfällung von reinem Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) einzuleiten. Durch Kalzinierung bei 1200°C wird das Wasser aus dem Aluminiumhydroxid ausgetrieben, und zurück bleibt reines Aluminiumoxid.

Der Hall-Heroult-Prozess

Umwandlung von Aluminiumoxid in Aluminium: Aufgrund der Reaktions-Chemie von reinem Aluminiumoxid ist für die Extraktion von Aluminium aus dem Oxid ein elektrochemischer Prozess erforderlich. Da der Schmelzpunkt von Aluminiumoxid mit 2050°C sehr hoch ist, wird es zur Herabsetzung des Schmelzpunkts auf 950°C mit Kryolith vermischt. Darüber hinaus erhöht Kryolith die elektrische Leitfähigkeit und damit die Stromausbeute.

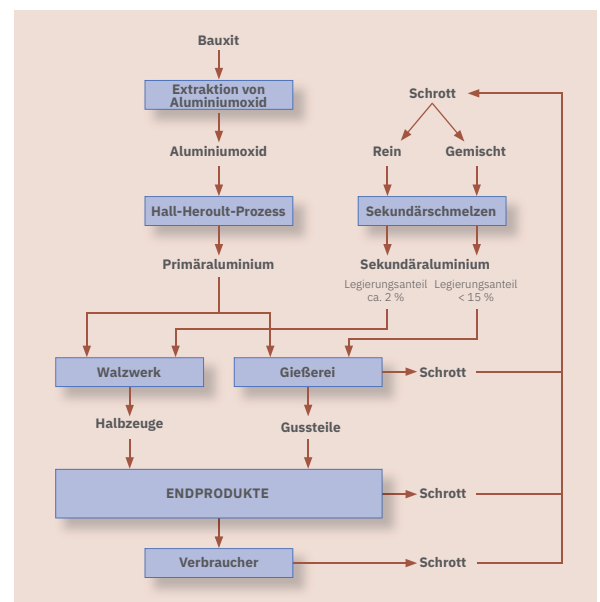
Die Elektrolyse findet in einem großen mit Kohlenstoff oder Graphit ausgekleideten Stahlbehälter statt, der Stahlstäbe zur Stromführung enthält. Die mit Kohlenstoff ausgekleideten Wände und der Boden bilden die Kathode, während die Aluminiumoxid-Kryolith-Schmelze als Elektrolyt dient. Die an einem Gestell über der Schmelze befestigten Kohlenstoffblöcke dienen als Anoden. Während der Elektrolyse reagiert der Kohlenstoff der Anode mit dem

Sauerstoff von Aluminiumoxid, sodass in einer sekundären Reaktion mit der Bildung von Kohlendioxid metallisches Aluminium gebildet wird:

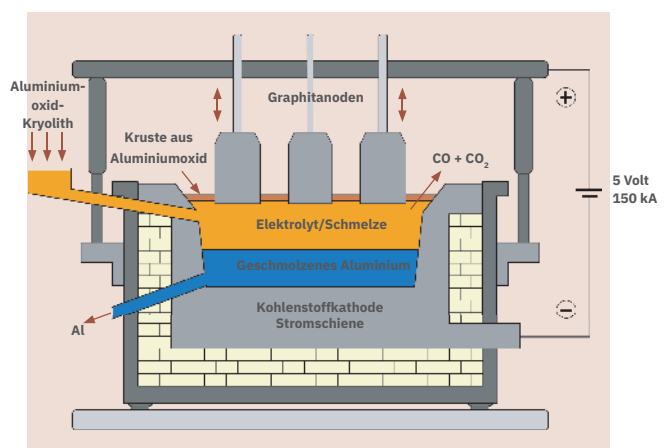


Das geschmolzene Aluminium weist eine höhere Dichte als die Elektrolyt-Schmelze auf und sammelt sich am Boden der Zelle. Es wird einmal täglich abgestochen und zu Rohmasseln vergossen. Mit diesem Verfahren wird Aluminium mit einer Reinheit von 99,0–99,9 % hergestellt, das größtenteils zur Herstellung von Aluminiumlegierungen verwendet wird.

Durch eine zusätzliche Elektrolyse kann die Reinheit des Aluminiums auf 99,98 % für Halbzeug und auf 99,99 % für Masseln erhöht werden. Dieses Reinaluminium hat eine sehr hohe Korrosionsbeständigkeit und eignet sich besonders gut zum Eloxieren. Es wird zum Aufhellen von Produkten wie Zierleisten, Reflektoren, Folien für Elektrolytkondensatoren sowie für Rohre in der chemischen und Lebensmittelindustrie eingesetzt. Da die Kosten für Aluminium mit zunehmender Reinheit steigen, wird die für ein bestimmtes Produkt erforderliche Aluminiumreinheit durch die jeweiligen Anforderungen der Anwendung bestimmt. Das Diagramm stellt den Kreislauf von Aluminium und die einzelnen Schritte seiner Herstellung dar. Die wichtigsten Produkte sind Knetlegierungen für Halbzeug mit einem Anteil von bis zu 2 % Legierungselementen sowie Gusslegierungen mit einem Anteil von bis zu 15 % Legierungselementen.



Vereinfachte Darstellung des Herstellungsverfahrens von Aluminium.



Schematische Darstellung der Elektrolyse zur Herstellung von Reinaluminium.



Es gibt zahlreiche Aluminiumlegierungen, die in Knet- und Gusslegierungen unterteilt werden. Diese beiden Gruppen werden wiederum in aushärtbare und nicht aushärtbare Legierungen unterteilt. Durch die Zugabe sehr geringer Mengen an Legierungselementen erhöhen sich im Vergleich zu den mechanischen Eigenschaften von Reinaluminium die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte. Die wichtigsten Legierungselemente sind Si, Mg, Cu, Zn und Mn. Verbindungen von Legierungselementen mit Aluminium oder untereinander (Mg_2Si , Al_2Cu , MgZn_2 und Al-Fe-Si-Verbindungen) beeinflussen die Verformbarkeit. Diese zumeist eutektischen Gefügebestandteile müssen durch eine Warmverformung fein verteilt werden, bevor die Legierungen weiter kalt verformt werden können.

Das wichtigste Verfahren zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Aluminiumlegierungen ist das Aushärten. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von Mischkristallen mit abnehmender Löslichkeit der Legierungselemente bei sinkenden Temperaturen, beispielsweise AlCuMg und AlMgSi.

Kaltaushärten (Beispiel: AlCuMg). Nach dem Lösungsglühen wird das Werkstück abgeschreckt, um die Ausfällung von Al_2Cu in der festen Lösung zu unterdrücken. Das Werkstück wird dann bei Raumtemperatur ausgelagert. Während dieses Prozesses scheidet die Aluminiummatrix das Kupfer aus der übersättigten Lösung aus. Das Aluminiumgitter wird dadurch verspannt und führt zu einem Anstieg von Festigkeit und Härte. Das Kaltaushärten dauert ca. 5–8 Tage.

Beim künstlichen Alterungshärten ist die Dynamik die gleiche wie oben beschrieben. Das Aushärten erfolgt jedoch bei einer höheren Temperatur. Das Aushärten einer AlMgSi-Legierung dauert bei einer Temperatur von 120–175 °C beispielsweise 4–48 Stunden nach Lösungsglühen und Abschrecken. Dabei blockiert die Ausscheidung der Mg_2Si -Phase die Gleitebenen des Aluminiumgitters und es kommt zu einem Anstieg der Festigkeit und Härte.

Nicht aushärtbare Legierungen werden durch Kaltverformung verfestigt

Hauptlegierungselement	Seriennummer	Beispiele für Legierungen
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- und 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

Knetlegierungen

Barren zum Walzen und Pressblöcke werden im Stranggussverfahren hergestellt. In vielen Fällen folgt auf das Gießen ein Glühen zur Homogenisierung. Das Gussgefüge wird durch Warmwalzen, Strangpressen oder Schmieden in ein Knetgefüge umgewandelt. Erst nach dieser Warmumformung, bei der das versprödete eutektische Korn- und Zellgrenzgefüge aufgebrochen wird, ist eine Kaltumformung von Knetlegierungen möglich (Abb. 3–5). Für Aluminiumknetlegierungen werden die Legierungselemente Kupfer, Magnesium, Zink und Mangan verwendet. Silizium und Eisen beeinflussen die mechanischen Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit, weswegen sie je nach erforderlichem Reinheitsgrad und Anwendung eine Verunreinigung oder ein Legierungselement darstellen können.



Abb. 3: Aluminiumlegierung 2024, gegossen, eutektische Ausscheidungen an Korngrenzen, nicht geätzt, 200x.

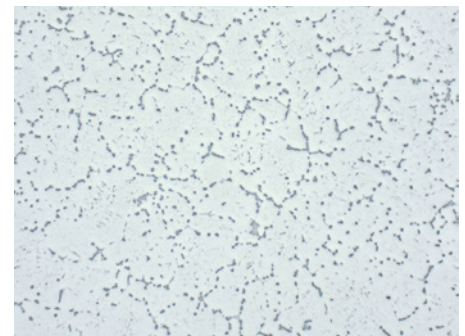


Abb. 4: Wie Abb. 3, homogenisiert, nicht geätzt, 200x.



Abb. 5: Wie Abbildung 4, warmgewalzt, nicht geätzt, 200x.



Leuchten mit Reflektoren aus hochglanzpoliertem Aluminium.



Knetlegierungen werden z.B. für Platten im Maschinenbau und Formenbau verwendet, für Walzprodukte wie Bleche und Bänder sowie plattierte Produkte wie Kühler und Wärmetauscher. Bei plattierten Blechen, die spezifische mechanische Eigenschaften und eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweisen müssen, besteht der Kern aus einer Aluminiumlegierung, die beidseitig mit Reinaluminium beschichtet und anschließend gewalzt wird. Diese plattierten Bleche werden für bestimmte Halbzeuge für die Luftfahrtindustrie oder für dekorative Anwendungen wie Zierleisten und Reflektoren verwendet. Hochfeste Knetlegierungen aus Aluminium werden im Maschinenbau, in der Förder- und Elektrotechnik sowie für Sport- und Freizeitprodukte wie Snowboardbindungen, Skistöcke und Zahnkränze für Mountainbikes eingesetzt. Aluminium wird zunehmend als Matrixwerkstoff für Verbundwerkstoffe eingesetzt, insbesondere für faserverstärkte Aluminiumwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

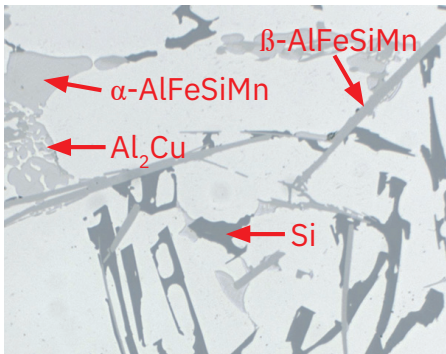


Abb. 6: AlSi6Cu4-Guss, die verschiedenen Phasen können anhand ihrer typischen Farbe erkannt werden.

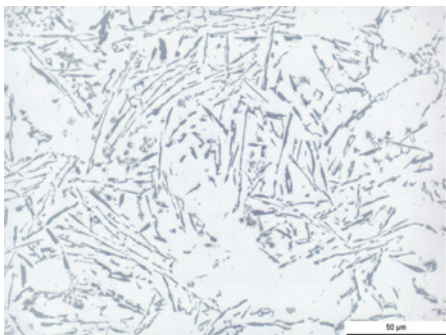


Abb. 7: Aluminium-Silizium-Guss, nicht veredelt. 500x

Gusslegierungen

Aluminiumguss wird in erster Linie legiert, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Die Unterscheidung erfolgt anhand der Hauptlegierungselemente, Silizium, Magnesium und Kupfer. Wenn ein Legierungselement die Mischkristallsättigung übersteigt, wird es entweder als reines Metall ausgeschieden, wie Silizium, oder als eine eutektische oder intermetallische Phase.

Silizium verbessert die Gießbarkeit von Aluminium und in eutektischen Legierungen, wie AlSi12, werden vor dem Gießen geringe Natriummengen zugesetzt, um das Eutektikum zu verfeinern. 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 durch Sand-, Kokillen- oder Druckguss hergestellt. Legierungen mit bestimmten Eigenschaften werden für verschiedene Produktgruppen für die Herstellung von Kolben, Gleitlagern, Teilen für den Maschinenbau, Zylinderköpfe und Bremsbacken verwendet.

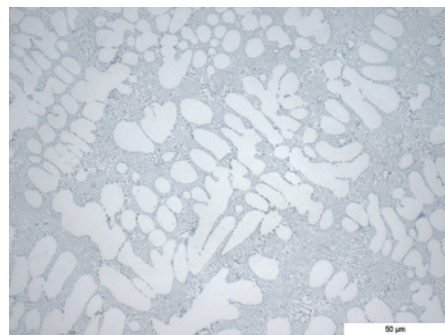
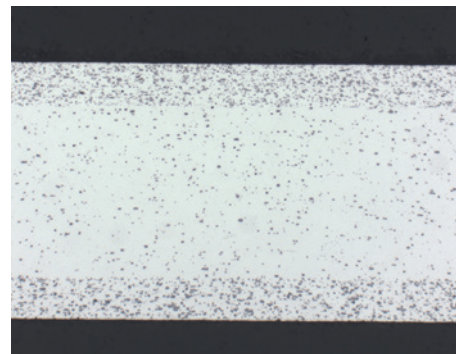


Abb. 8: Aluminium-Silizium-Guss, veredelt. 500x

Einige der wichtigsten Gusslegierungen und deren Eigenschaften sind nachfolgend aufgeführt:

AlSi10Mg	Aushärtbar, vibrations- und korrosionsbeständig
AlSi5Cu1	Aushärtbar, gute Gieß- und Schweißbarkeit, für dünnwandige Gussteile
AlMg3	Meerwasserbeständig
AlSi25+ Cu Ni	Aushärtbar, Speziallegierung, für Kolben; aufgrund des hohen Si-Gehalts verschleißfest
AlMgSiPb	Geeignet für die spanende Bearbeitung
AlSi9Cu3	Gut gießbare universale Legierung, wichtigste Legierung für Druckguss



Plattiertes Blech, Kern: 100x
Aluminiumlegierung 3503, Plattierung: Aluminiumlegierung 4104, nicht geätzt.



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

SCHWIERIGKEITEN BEI DER PRÄPARATION VON ALUMINIUM UND ALUMINIUMLEGIERUNGEN

Mit zunehmendem Reinheitsgrad wird Aluminium weicher und somit anfälliger für mechanische Verformung und Kratzer. Daher kann das Schleifen von hochreinem Aluminium bereits zu tiefen Verformungen führen.

Schleif- und Poliermittel können in die Oberfläche eingedrückt werden. Aluminium wird mit zunehmendem Legierungsgehalt härter, wobei Gusslegierungen vergleichsweise einfach zu präparieren sind. Es muss jedoch betont werden, dass die Aluminiummatrix gut auspoliert werden muss, um Fehler bei der Gefügeauswertung zu vermeiden (Abb. 9 und 10).

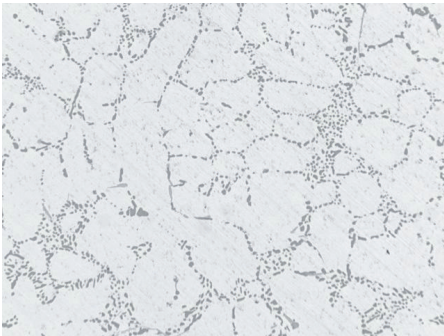


Abb. 9: Aluminium-Silizium-Gussteil nach dem Diamantpolieren, 3 µm, geringfügige Kratzer sind noch sichtbar. 200x



Abb. 10: Gefüge wie in Abb. 9, aber endpoliert mit OP-U Suspension. Die Matrix ist gut poliert, das Eutektikum hat mehr Kontrast. 200x

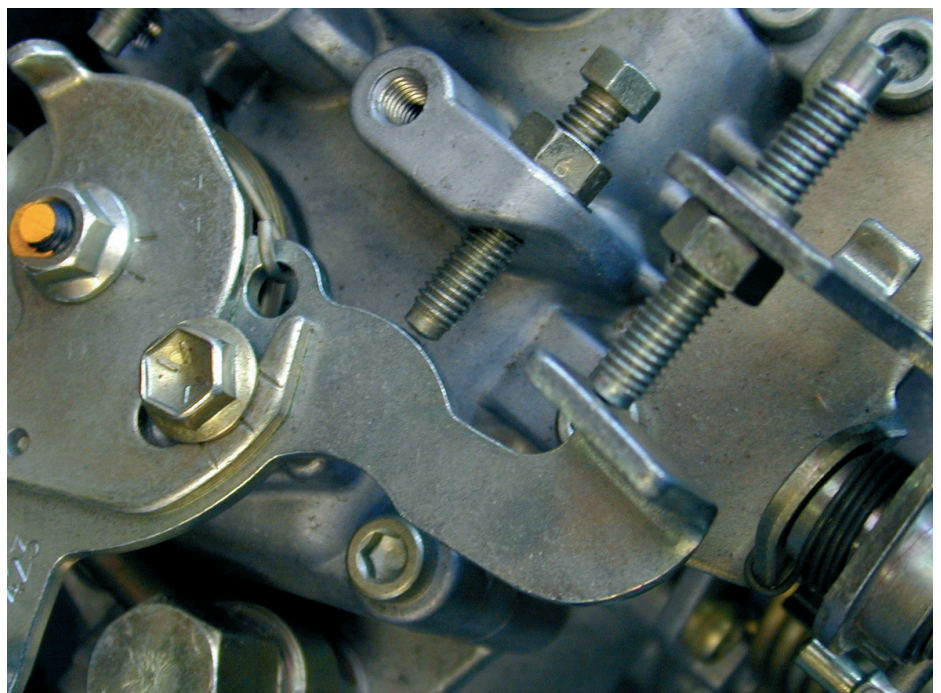
Zum Trennen von Aluminium verwendet man eine harte Siliziumkarbid-Trennscheibe, die generell für Nichteisenmetalle geeignet ist. Für das Einbettmittel ist in den meisten Fällen ein Phenolharz ausreichend. Dünne Bleche, Folien und Proben, die anodisiert werden bettet man am besten in langsam aushärtendem Epoxidharz ein, wobei die Probe aus der Rückseite der Einbettung hervorstehen sollte und so als elektrischer Kontakt dienen kann.

Mechanisches Schleifen und Polieren

Es wird empfohlen, das Planschleifen mit der feinst möglichen Körnung durchzuführen, um eine übermäßige mechanische Verformung zu vermeiden. Härte, Größe und Anzahl der Proben müssen berücksichtigt werden, aber auch bei größeren Proben aus reinem Aluminium reicht Körnung 500 zum Planschleifen aus. Große Gussstücke aus Aluminiumlegierung können mit Körnung 220 oder 320 geschliffen werden. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, die Andruckkraft beim Schleifen gering zu halten, um tiefe Verformungen zu vermeiden, und die Reibung zwischen Schleifolie/-papier und Probenoberfläche zu reduzieren. Bei reinem Aluminium kann diese relativ hoch sein.

Das Diamantpolieren wird erst beendet, wenn alle beim Schleifen verursachten tiefen Kratzer entfernt sind.

Wenn wasserlösliche Bestandteile identifiziert werden müssen, wird ein Polieren mit einer wasserfreien Diamantsuspension und Schmiermittel empfohlen. Wurden während des Polierens Diamantpartikel in die Oberfläche gepresst, kann das anschließende Endpolieren mit einer Siliziumdioxidsuspension relativ lange dauern (siehe Abb. 1 auf Seite 2). Oft lassen sich auf der Probenoberfläche bereits mit bloßem Auge glänzende und matte Bereiche erkennen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Endpolieren noch nicht ausreichend ist. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass eingebettete Partikel zu einer falschen Bewertung des Gefüges führen können.



Ausschnitt eines Maschinenbauteils mit Aluminiumgussbauteilen.

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRÄPARATION VON ALUMINIUM UND ALUMINIUMLEGIERUNGEN

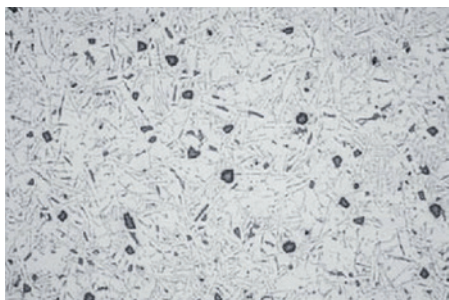


Abb. 11: Aluminium-Silizium-Guss nach 100x. zu langem Polieren mit OP-S Suspension, Siliziumausscheidungen als Relief.

Nach 1 Minute Polieren mit OP-U Suspension wird das Ergebnis unter dem Mikroskop geprüft. Falls notwendig sollte das Polieren noch eine weitere Minute fortgesetzt und das Ergebnis erneut überprüft werden. Es wird empfohlen, diese Polier-/Prüfabfolge fortzusetzen, bis die gewünschte Qualität des Ergebnisses erreicht ist. (Etwa 20–30 Sekunden vor Ende des Polierens wird Wasser auf das Poliertuch gegeben, um sowohl die Probe als auch das Tuch abzuspielen.) Anschließend wird die Probe erneut mit sauberem Leitungswasser gespült und danach getrocknet. Hinweis: Ein zu langes Polieren mit der Siliziumdioxidsuspension OP-S NonDry kann eine ausgeprägte Reliefbildung zur Folge haben (Abb. 11).

Die folgenden Daten gelten für die automatische Präparation eingebetteter Proben mit einem Durchmesser von 30 mm.

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

Das elektrolytische Polieren ist insbesondere für Reinaluminium und Knetlegierungen geeignet. Es ergibt eine kratzerfreie Oberfläche und kommt häufig bei der Qualitätskontrolle zum Einsatz, da damit schnelle, reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden. Für die routinemäßige Korngrößenbestimmung bei Vergrößerung 100x ist ein Vorschleifen mit SiC-Folie/-Papier, Körnung 1000 ausreichend. Bei gewalzten oder gezogenen Oberflächen ist ein Schleifen oder Polieren unnötig. Für Reinaluminium und die genaue Bestimmung der Kornform müssen die Proben vor dem elektrolytischen Polieren bis Körnung 2000 und gelegentlich sogar bis Körnung 4000 feingeschliffen werden. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Phasen in Gusslegierungen sind sie nicht für das elektrolytische Polieren geeignet.

Nach dem Polieren erzeugt das Anodisieren mit Barker-Reagenz einen Farbkontrast, der sich besonders gut zur Bestimmung der Korngröße eignet. Der Farbeffekt wird durch polarisiertes Licht mit einem $\lambda/4$ -Plättchen erzielt (Abb. 12).

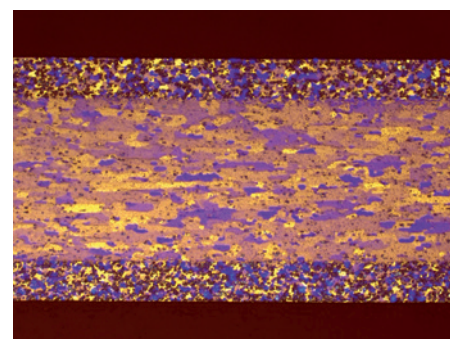


Abb. 12: Plattiertes Blech, anodisiert, 100x. Kornbereiche deutlich sichtbar und für die automatische Bildanalyse geeignet, polarisiertes Licht mit $\lambda/4$ -Plättchen.

Präparationsmethode 1 – Aluminium – Silizium-Guss

Schleifen

SCHRIITT		Polieren			
		PG	FG	DP	OP
	Oberfläche	MD-Molto	MD-Largo	MD-Mol*	MD-Chem
	Schleifmittel	Typ	Diamant	Diamant	Amorphes Siliziumoxid
		Größe	# 220	9 µm	3 µm
	Suspension/Schmiermittel	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Mol R3	OP-U NonDry
	U/min	300	150	150	150
	Andruckkraft [N]/Probe	25	30	25	15
	Zeit [min]	Bis plan	4	3	1

* Alternative: MD-Dac.

\\

Präparationsmethode 2 – Reinaluminium

Schleifen

SCHRITT 	PG 	FG 1 	FG 2 	FG 3 	DP 	OP 
 Oberfläche	Folie/Papier*	Folie/Papier*	Folie/Papier*	Folie/Papier*	MD-Mol*	MD-Chem
 Schleifmittel	Typ	SiC	SiC	SiC	Diamant	Amorphes Siliziumoxid
	Größe	#320/500	#800	#1200	#4000	3 µm
 Suspension/ Schmiermittel	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	DiaPro Mol R3	OP-U oder OP-S
 U/min	300	300	300	300	150	150
 Andruckkraft [N]/ Probe	25	25	25	25	25	15
 Abtrag [µm] Zeit [min]	Bis plan	0,5	0,5	0,5	4	2–5

* Um grobe Kratzer zu vermeiden, kann SiC-Folie/-Papier vor dem Schleifen mit Wachs abgerieben werden.

** Alternative: MD-Dac.

Präparationsmethode 3 – Reinaluminium, alternative Methode

Schleifen

SCHRITT 			PG 	FG 	DP 	OP 
	Oberfläche		Folie/ Papier*	MD-Pan	MD-Dac 3 oder MD/Dur 3	MD-Chem
	Schleif- mittel	Typ	SiC	Diamant	Diamant	Amorphes Siliziumoxid
		Größe	#320	15 µm	3 µm	0,04 µm oder 0,25 µm µm
	Suspension/ Schmiermittel		Wasser	DiaPro Pan 15	DiaPro Dac 3/Dur 3	OP-U oder OP-S
	U/min		300	150	150	150
	Andruckkraft [N]/ Probe		25	25	25	15
	Zeit [min]		Bis plan	5	4	2–5

* Um grobe Kratzer zu vermeiden, kann SiC-Folie/-Papier vor dem Schleifen mit Wachs abgerieben werden.



Ätzen und Gefüge

Makroätzungen werden zur Bestimmung der Korngröße, Fließverhalten beim Strangpressen (Abb. 13) sowie zum Sichtbarmachen von Schweißnähten eingesetzt. Vor dem Ätzen muss die Probe mit Körnung 1200 oder 2400 geschliffen werden.

Aufgrund der zahlreichen Legierungsmöglichkeiten für Aluminium können die verschiedenen Phasen in einigen Mehrstofflegierungen nicht immer eindeutig unterschieden werden. Einige der bekannteren Phasen haben die unten stehenden charakteristischen Farben (siehe auch Abb. 6 auf S. 5):



Abb. 13: Pressstück, Makroätzung, primäre und heterogene Ausscheidungen erkennbar, die sich negativ auf die Oberfläche des Endprodukts auswirken.

Elektrolyt:	A2
Maske:	2 cm ²
Spannung:	39 V
Flussrate:	10
Zeit:	20 s

Si	Grau
Mg ₂ Si	Matt dunkelblau beim Polieren (Guss: Chinesenschrift)
Al ₂ Cu	Pink-braun, kupferfarben
Al ₆ Mn	Hellgrau

Je nach Legierungsgehalt lassen sich diese eutektischen Phasen jedoch gelegentlich anhand der typischen Form ihres Eutektikums erkennen. In der einschlägigen Literatur sind Ätzmittel aufgeführt, mit denen diese Phasen identifiziert werden können (Abb. 14 und 15).

Kontraste in Knetlegierungen mit einem stark deformierten Gefüge, wie Folien oder sehr dünnen Blechen, lassen sich mit chemischen Ätzmitteln nur schwer erreichen. Dies kann die automatische Bildanalyse erschweren. Deswegen ist es empfehlenswert, die Probe mit Barker-Reagenz zu anodisieren und das Gefüge anschließend manuell unter dem Mikroskop zu bewerten, da der Kontrast selbst mit Barker-Reagenz mitunter nicht für eine automatische Bildanalyse ausreicht. Es ist darauf hinzuweisen, dass bestimmte Spezifikationen für Knetlegierungen eine manuelle Korngrößenbestimmung verlangen, da die Bildanalyse nicht präzise genug ist.

Ätzlösungen

Hinweis: Bei der Arbeit mit Chemikalien sind die üblichen Sicherheitshinweise zu beachten.

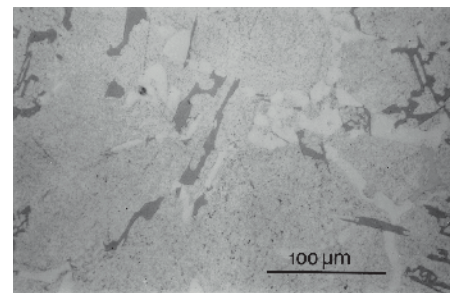


Abb. 14: Experimentelle Aluminiumlegierung mit 6 % Si und 10 % Cu, nicht geätzt.

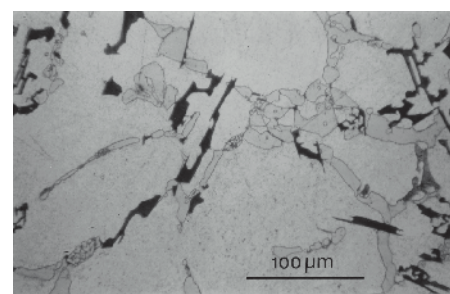


Abb. 15: Wie Abb. 14, aber 30 Sekunden lang mit 1 g Molybdänsäure in 200 ml Wasser + 6 g Ammoniumchlorid geätzt. Silizium erscheint dunkelblau und lässt sich von dem gräulichen CuAl₂ unterscheiden.

Makroätzung

Für Reinaluminium	90 ml Wasser 15 ml Salzsäure 10 ml Flusssäure
Tiefenätzung zum Nachweis des dendritischen Gefüges im Primärguss	100 ml Wasser 10–25 g Natriumhydroxid

Mikroätzung

Flick-Reagenz: Korngrenzenätzung bei den meisten Aluminiumsorten und Aluminiumlegierungen	90–100 ml Wasser 0,1–10 ml Flusssäure
Dix- und Keller-Reagenz: Kornflächenätzung bei Aluminiumlegierungen mit Kupfer, auch geeignet für Reinaluminium.	190 ml Wasser 5 ml Salpetersäure 10 ml Salzsäure 2 ml Flusssäure
Farb-Ätzmittel:	Molybdänsäurelösung nach Klemm oder Weck

ZUSAMMEN- FASSUNG

Durch die geringe Dichte, die hohe Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium und Aluminiumlegierungen werden diese Werkstoffe in zahlreichen Anwendungen, u. a. in der Automobil-, Flugzeug-, Luftfahrt- und Verpackungsindustrie eingesetzt. Die Metallographie dient zur Qualitätskontrolle bei der Korngrößenbestimmung sowie der Beurteilung von Phasen, Verunreinigungen und mechanischen Defekten. Da Reinaluminium ausgesprochen anfällig für Verformungen ist, sollte das Schleifen nicht mit einer groben Körnung durchgeführt werden. Ein sorgfältiges Endpolieren mit Siliziumdioxidsuspension gewährleistet, dass eingedrückte Diamantpartikel vollständig von der Probenoberfläche entfernt werden. Aluminiumgusslegierungen lassen sich relativ einfach polieren. Das Anodisieren mit Barker-Reagenz für die Korngrößenbeurteilung eignet sich besonders gut, da es den Kontrast besser als das chemische Ätzen verstärkt. Die verschiedenen Phasen einer Gusslegierung lassen sich entweder anhand ihrer charakteristischen Farbe oder durch spezielle Ätzmittel erkennen, die vorzugsweise bestimmte Phasen angreifen.

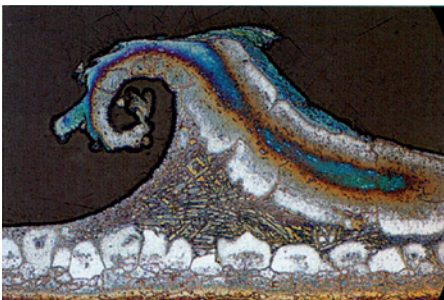


Abb. 16: Grat an der Lötstelle eines Wärmetauschers, vorgeätzt mit Natriumhydroxid und farbgeätzt mit Kaliumpermanganat nach Weck.

APPLICATION NOTE

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
Struers ApS, Kopenhagen, Dänemark

Danksagungen

Wir danken der AMAG rolling GmbH, Ranshofen, Österreich, für die Bereitstellung des Probenmaterials und die Genehmigung zur Reproduktion des Fotos mit den Leuchten auf Seite 4. Ein besonderer Dank geht an Frau Petra Mersch und Dr. Reinhardt Rachlitz für ihre Unterstützung.

Wir danken der Austria Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen, Österreich, für die Erlaubnis, das Foto der Aluminiumfelge auf Seite 2 zu verwenden.

Wir danken Thomas Zwiig, Danish Institute of Technology, Aarhus, Dänemark, für die Erlaubnis zur Reproduktion von Abb. 16.

Literatur

Structure 38, Thomas, Zwiig, Danish Institute of Technology, Aarhus, Denmark, A universal method for the mechanical preparation of Aluminum alloy specimens with high edge retention and their subsequent colour etching. Structure 8, Etching of Aluminum alloys, Dr. Philippe Lienard, Pof. 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.