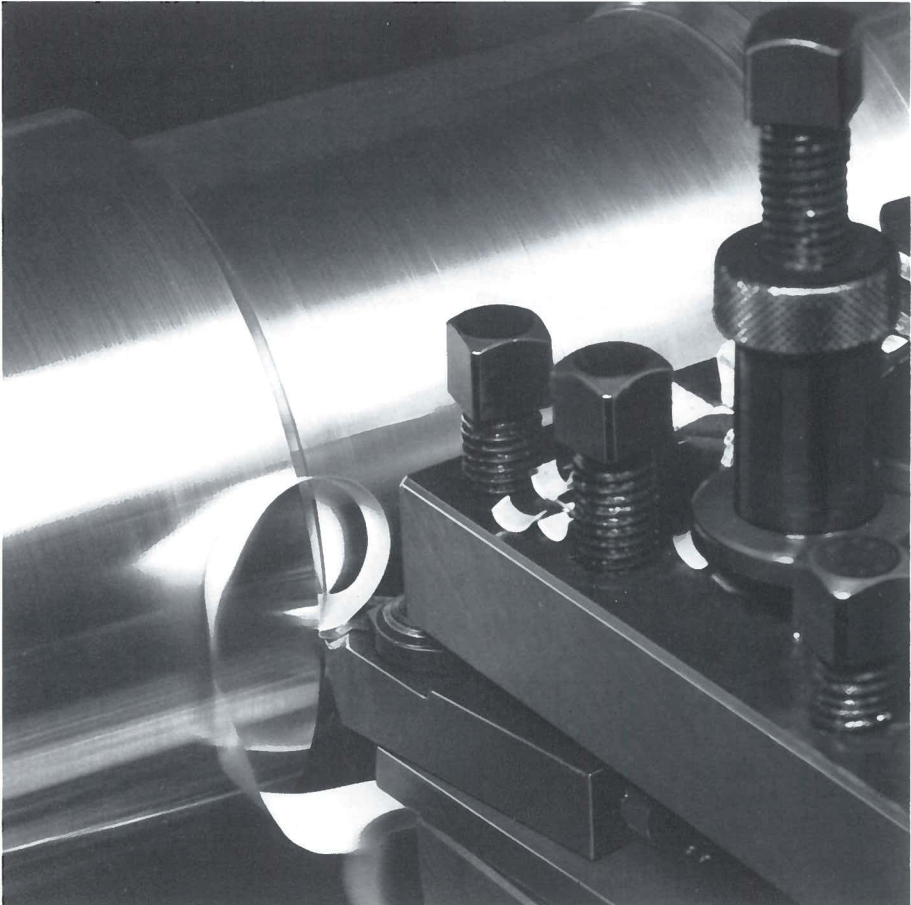




Aluminium-Zentrale e.V.

Am Bonnhof 5, 4074 Düsseldorf
Postfach 105463, 40045 Düsseldorf
Telefon: +49 211 - 47 96 0
Telefax: +49 211 - 47 96 410
E-Mail: technik@aluinfo.de
Web: www.aluinfo.de

Spanen von Aluminium



Merkblatt B2 – 4. Auflage

Inhalt

1.	Einleitung	3	8.	Aluminiumhalbzeuge für die Zerspanung	15
2.	Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen	4	9.	Bearbeitungsverfahren	16
3.	Werkstoffeinflüsse	7	9.1	Drehen	16
4.	Einflüsse von Schnittbedingungen und Werkzeuggeometrie	9	9.2	Fräsen	17
5.	Schneidstoffe für die Aluminiumzerspanung	10	9.3	Bohren	19
5.1	Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl	11	9.4	Senken, Reiben, Gewindeschneiden, Räumen	22
5.2	Hartmetallwerkzeuge	11	9.5	Sägen	22
5.3	Diamantwerkzeuge	12	9.6	Schleifen	24
5.4	Ungeeignete Schneidstoffe	12	9.7	Sonstige Bearbeitungsverfahren	24
6.	Maschinen und Hilfseinrichtungen	13	10.	Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC), Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung	25
7.	Kühlschmierstoffe	14			

1. Einleitung

Durch den gesteigerten Einsatz von Aluminium im Automobilbau, im Maschinen- und Anlagenbau, in der Elektrotechnik und im allgemeinen Metallbau nehmen die Zerspanungsaufgaben des Werkstoffs Aluminium immer mehr zu.

Ziel dieses Merkblattes ist es, eine Übersicht zu schaffen. Die Verfahren Drehen, Fräsen, Bohren und Sägen stehen hierbei im Vordergrund. Aufgrund des weiten Einsatzfeldes des vielseitigen Werkstoffs Aluminium und dessen unterschiedlichen Legierungen befasst sich das Merkblatt in den Kapiteln 1 bis 8 mit den allgemeinen Werkstoffhinweisen, den Werkzeugen und den Verfahren. Zielgruppe sind Bearbeiter, die auf konventionellen Maschinen und mit vertretbarem Aufwand eine Aluminiumzerspanung vornehmen wollen. Die Angaben von Schnittgeschwindigkeiten und Spanleistungen beziehen sich darauf.

Im Kapitel 9 wird auf bereits erzielte Ergebnisse der Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC) eingegangen. Mit Aluminium können hier große Produktivitätssteigerungen erzielt werden. Dazu müssen aber die Konstruktion der Maschine, der Werkstoff, das Werkzeug, die Späneabfuhr und eine eventuelle Minimalmengenschmierung genau aufeinander abgestimmt werden. Der Einsatz dieser Technik ist in der Luft- und Raumfahrt bereits Stand der Technik. Bei Großserienteilen für die Automobilindustrie wird sie derzeit zur Bearbeitung von Gussgehäusen eingesetzt.

Die angegebenen Zerspanungswerte sind als Information zu verstehen, welche Leistungen mit diesen Verfahren zu erreichen sind. Die genaue Beschreibung der Einflussparameter würde den Rahmen des Merkblattes sprengen. Es ist deshalb sinnvoll, sich mit den Maschinen- und Werkzeugherstellern in Verbindung zu setzen.

2. Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen

Zerspanungssysteme sind durch verschiedene Kriterien gekennzeichnet: die entstehende Spanform, die Oberflächengüte, die Verschleißwirkung auf das Werkzeug, die erforderlichen Schnittkräfte und Antriebsleistungen, die geometrische Genauigkeit. Je nach Aufgabenstellung und Bearbeitungsverfahren stehen jeweils eines oder auch mehrere Zerspanungskriterien im Vordergrund. Die Summe aller Zerspanungskriterien fasst man unter dem Begriff „Zerspanbarkeit“ zusammen. Die Zerspanbarkeit eines Werkstoffes ist danach nicht eine physikalische Materialeigenschaft (die sich mit einer Kennzahl definieren ließe). Sie kennzeichnet vielmehr die technologische Bearbeitbarkeit im Einzelfall und ist stets im Zusammenwirken mit den Elementen des Zerspanungssystems zu sehen.

Die Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen in ihren wesentlichen Abhängigkeiten zeigt Tabelle 1.

Den insgesamt größten Einfluss hat das Zerspanungsverfahren. Streng genommen ist das Urteil über die Zerspanbarkeit von Aluminium jeweils nur für ein Verfahren (Drehen, Bohren, Fräsen u.a.) gültig. Infolge seiner großen Verbreitung und wegen der einfachen kinematischen Zuordnung von Werkzeug und Werkstück beziehen sich Aussagen zur Zerspanbarkeit gewöhnlich auf das Drehen. Auf andere Verfahren sind diese Aussagen nicht uneingeschränkt übertragbar.

Der relativ große Einfluss des Werkstoffes sagt aus, dass die Familie der Aluminiumwerkstoffe ein Spektrum verschiedenartiger Werkstoffgruppen mit sehr unterschiedlichen Zerspanungseigenschaften beinhaltet. Um zu einer Klassifizierung zu gelangen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, zwischen verschiedenen Werkstoffgruppen zu unterscheiden; eine Übersicht gibt Tabelle 2.

Tabelle 1: Einflüsse auf die Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen, Übersicht

Einflußgröße	Zerspanungskenngröße			
	Spanform	Oberfläche	Verschleiß	Schnittkraft
Bearbeitungsverfahren	●	●	●	●
Aluminiumwerkstoff	●	◐	●	◐
Schnittbedingungen u. Werkzeuggeometrie	◐	●	●	◐
Maschine	○	●	◐	○
Schneidstoff	○	◐	●	○

○ Sehr geringer oder kein Einfluß
 ◐ Mäßiger Einfluß
 ● Großer Einfluß

2. Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen

Tabelle 2: Klassifizierung von Aluminiumwerkstoffen nach ihrer Zerspanbarkeit

	Legierungstypen	Legierungsbeispiele		Kennzeichnende Zerspanungseigenschaften
		DIN 1725 (alt)	DIN EN 573 (neu) DIN EN 1706 (neu)	
Gruppe 1: Aluminium-Knetwerkstoffe geringerer Festigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Nichtaushärtbare Legierungen im unverfestigten oder teilverfestigten Zustand Aushärtbare Legierungen im nichtaushärtbaren Zustand 	Reinaluminium, Al 99, X AlMn1, AlMg1, AlMg2, 7Mn AlMgSi0,5, AlMgSi1	1000er Gruppe 3103, 5005A, 5454 6063, 6060, 6082	Weiche, dückle Werkstoffe von grosser Homogenität, geringe Festigkeit, keine harten Bestandteile. Kleben und Schmirren bei der Bearbeitung. Starke Neigung zur Aufbauschneidenbildung, keine Scheinspäne.
Gruppe 2.1: Aluminium-Knetwerkstoffe gesteigerter Festigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Nichtaushärtbare Knetwerkstoffe im kaltverfestigten Zustand Aushärtbare Knetwerkstoffe im aushärtbaren und/oder kaltverfestigten Zustand 	AlMn1, AlMg1 bis AlMg5, AlMg2, 7Mn, AlMg4, 5Mn AlCuMg1, AlZn4, 5Mg1, AlZnMgCu0,5, AlZnMgCu1,5	3103, 5005A bis 5019, 5454, 5083 2017A, 7020 7022, 7075	Dehnigkeiten zwischen 300 u. 600 N/mm ² bei guten Dehnungswerten. Keine harten Bestandteile (geringe Verschleißwirkung), geringer werdende Neigung zur Aufbauschneidenbildung mit ansteigender Festigkeit, keine Scheinspäne.
Gruppe 2.2: Automatenwerkstoffe	<ul style="list-style-type: none"> Aushärtbare Knetwerkstoffe mit spannbrechenden Zusätzen 	AlMgSiPb, AlCuBiPb, AlCuMgPb als bleifreie Ersatzwerkstoffe: AlCuSnBi und AlMgSiSnBi	6012, 2011 2007	Kurz brechende Späne infolge spannbrechender Zusätze. Festigkeitswerte 280 bis 380 N/mm ² . Geringe Neigung zur Aufbauschneidenbildung, keine Scheinspäne.
Gruppe 3.1: AlSi-Gusswerkstoffe bis 10% Silizium (untereutektisch)	<ul style="list-style-type: none"> AlSiCu-Legierungen AlSiMg-Legierungen 	AlSi5Cu1, AlSi6Cu4, AlSi8Cu3, AlSi5Cu3 AlSi5Mg, AlSi7Mg, AlSi9Mg, AlSi10Mg	45300 / 45000 46200 / 45400 – / 42000 43300 / 43000	Festigkeit bis 250 N/mm ² . Festigkeit bis 360 N/mm ² . Gesteigerte Verschleißwirkung durch harte Legierungsbestandteile und evt. Einschlüsse. Guter Spanbruch und glatte Oberflächen. Neigung zur Aufbauschneidenbildung ab etwa 5% Siliziumgehalt. Gesteigerte Scheinspanbildung.
Gruppe 3.2: AlSi-Gusswerkstoffe geringerer Härte (eutektisch)	<ul style="list-style-type: none"> AlSi-Legierungen mit etwa 12 % Siliziumgehalt 	AlSi11, AlSi12	44000 44100, 44200, 44300	Geringe Härte des Grundwerkstoffe. Härte metallische Legierungsbestandteile sowie evt. Einschlüsse; große Neigung zur Aufbauschneidenbildung und zu Scheinspänen.
Gruppe 3.3: AlSi-Gusswerkstoffe großer Härte (übereutektisch)	<ul style="list-style-type: none"> Legierungen mit über 12 % Siliziumgehalt 	AlSi18CuMgNi, AlSi21CuNiMg, AlSi25CuMgNi, AlSi17Cu4FeMg	– – – –	Mittlere Festigkeit, hohe Härte, sehr geringe Dehnung. Hoher Verschleiß durch sehr harte intermetallische Verbindungen und primär ausgeschiedenes Silizium; große Neigung zu Scheinspänen, und zu Aufbauschneidenbildung

2. Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen

Typische Merkmale der Aluminiumzerspanung sind Aufbauschneiden- und Scheinspanbildung. Aufbauschneiden (**Bild 1**) entstehen aus Werkstoffteilen, die fest an der Spanfläche des Werkzeuges haften. Es staut sich ein Keil aus stark umgeformtem Werkstoff auf, der periodisch mit dem ablaufenden Span abwandert und zu einer drastischen Oberflächenverschlechterung führt. Die Neigung zur Aufbauschneidbildung ist werkstoffabhängig (**Tabelle 2**) und eine Funktion der

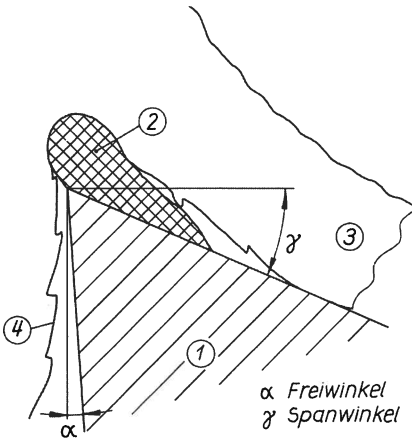


Bild 1: Aufbauschneidbildung bei der Aluminiumzerspanung, schematisch; 1 Schneidkeil, 2 Aufbauschneide, 3 Span, 4 Oberflächenrauheit

Scheinspäne (**Bild 2**) entstehen, wenn die Temperatur an der Schneide soweit ansteigt, dass der Werkstoff in den teigigen Zustand übergeht. Dann wachsen langsam spanähnliche Gebilde an der Werkzeugfreifläche, welche die entstehende Oberfläche stark beeinträchtigen. Zur Scheinspanbildung neigen

Schnittgeschwindigkeit. Da Aufbauschneiden im unteren Schnittgeschwindigkeitsbereich entstehen, sollte Aluminium – je nach Werkstoff und Zerspanungsbedingungen – nicht unter 40 bis 90 m/min zerspan werden. Wo diese Grenze aus verfahrenstechnischen Gründen (z.B. beim Bohren) unterschritten werden muss, sind spezielle Maßnahmen bei der Werkzeuggestaltung (große Spanwinkel, polierte Spanfläche) sowie eine gute Schmierung (Schneidöl) erforderlich.



Bild 2: Scheinspanbildung beim Drehen von Aluminium

vor allem Werkstoffe mit starker Verschleißwirkung (**Tabelle 2**). Maßnahmen gegen Scheinspanbildung sind all jene, die zu einer Temperaturminderung an der Schnittstelle führen; geringere Schnittgeschwindigkeit, intensive Kühlung, polierte Spanfläche und andere.

3. Werkstoffeinflüsse

Bei der Aluminiumzerspanung können, je nach Härte und Duktilität der Legierung, nahezu alle möglichen **Spanformen** auftreten. Allgemein gilt, dass die Späne um so kürzer brechen, je härter der zerspannte Werkstoff ist. Eine Sonderstellung nehmen dabei die Automatenwerkstoffe ein, bei denen mit spanbrechenden Zusätzen (Blei, Antimon, Bismut, Zinn, Cadmium) ein besonders kurz brechender Span erreicht wird. Problematisch im Hinblick auf die Spanformen sind die Aluminiumwerkstoffe der Gruppe 1. Es ist deshalb stets anzustreben, die spanende Bearbeitung im Zustand erhöhter Festigkeit (nach dem Aushärten beziehungsweise im kaltverfestigten Zustand) vorzunehmen.

Die beste **Oberflächengüte** lassen Aluminiumwerkstoffe mit einem homogenen Gefüge gesteigerter Festigkeit erwarten. Legierungen, bei denen eine Schmelzereinigung oder eine Kornfeinungsbehandlung vorgenommen wurde, weisen besonders glatte Schnittflächen auf. Weiche, duktile Knetwerkstoffe (Gruppe 1) sind wegen ihrer Neigung zum Kleben, Schmieren und zur Aufbauschneidenbildung auch hinsichtlich der erreichbaren Oberflächengüte problematisch; die weichen Werkstoffzustände sind deshalb beim Zerspanen ungünstiger.

Der für Aluminiumwerkstoffe typische **Verschleißvorgang** ist der Abrieb an der Freifläche des Werkzeuges. Die Ursache sind harte Bestandteile, die vor allem in siliciumhaltigen Gusswerkstoffen enthalten sind. Dieser Abrieb bewirkt eine sogenannte Verschleißmarke an der Werkzeugfreifläche (**Bild 3**). Die Breite dieser Verschleißmarke VB ist das typische

Maß für den Verschleißzustand des Werkzeuges. Kolkverschleiß tritt bei der Aluminiumbearbeitung nicht auf.

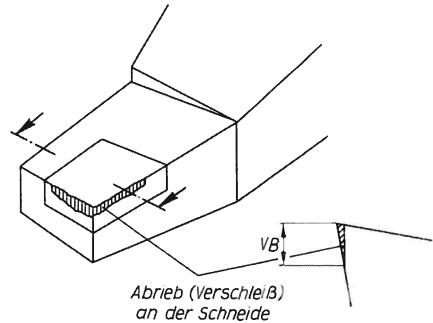


Bild 3: Werkzeugverschleiß beim Zerspanen von Aluminiumwerkstoffen

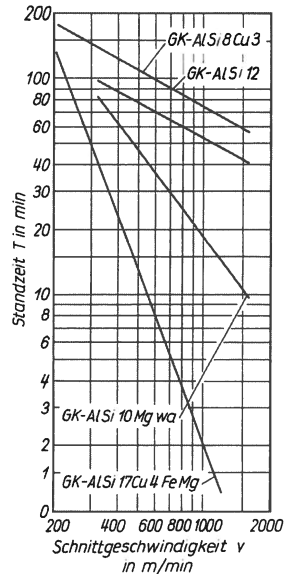


Bild 4: Standzeiterhalten verschiedener AISI-Gusswerkstoffe mit Hartmetallwerkzeugen

3. Werkstoffeinflüsse

Der Einfluss des Werkstückwerkstoffes auf den Verschleiß ist deutlich ausgeprägt (**Tabelle 1**): Die Werkstoffgruppen 1 und 2 zeigen einen nur minimalen Verschleißangriff um so größer, je höher der Siliciumanteil und je härter die Grundmasse sind. Bild 4 zeigt die Standzeit T (Bearbeitungszeit zum Erreichen einer vorgegebenen Verschleißmarkenbreite VB) für einige typische Werkstoffe der Gruppe 3.1, 3.2 und 3.3 in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit. Die praktische Konsequenz aus diesem Verhalten ist, dass mit geringerer Schnittgeschwindigkeit gearbeitet werden muss, um akzeptable Standzeiten zu erhalten. In Tabelle 3 sind deshalb Richtwerte für die maximalen Schnittgeschwindigkeiten eingetragen. Aluminium-Knetwerkstoffe (Gruppen 1 und 2) würden in dieser Dar-

stellung (**Bild 4**) als sehr wenig geeignete Geraden erscheinen; bei diesen Werkstoffen ist der Verschleiß unproblematisch. Beim Zerspanen von Gussstücken ist zusätzlich zu beachten, dass Einschlüsse und Porosität den Verschleiß unter Umständen steigern können.

Die **Schnittkräfte** unterscheiden sich trotz der unterschiedlichen Festigkeits- und Härtewerte von Aluminiumwerkstoffen nur wenig voneinander. Die kennzeichnende Größe, die auch in Tabelle 3 Verwendung gefunden hat, ist die spezifische Schnittkraft $k_{S1,1}$, das ist die Kraft für einen Span mit 1 mm^2 Querschnitt. Als Anhaltswert gilt, dass die spezielle Schnittkraft von Aluminiumwerkstoffen etwa ein Drittel des Wertes für Stahl ausmacht.

Tabelle 3: Zerspanbarkeit verschiedener Aluminiumwerkstoffe, Drehbearbeitung

Werkstoffgruppe ¹⁾	Spanform	Oberfläche	Verschleiß ²⁾	Schnittkraft ³⁾
1	Ungünstig (langspanend, Neigung zum Schmieren)	Oft ungenügend (Aufbauschneiden, Verklebungen an der Schneide)	Sehr gering ($v_{\max} \approx 3000 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1} \approx 400 \text{ N/mm}^2$
2.1	Günstig (besser mit ansteigender Festigkeit)	Gut bis sehr gut (besser mit ansteigender Festigkeit)	Gering ($v_{\max} \approx 2500 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1}$ Mit der Festigk. ansteigend von etwa 400 N/mm^2 bis 550 N/mm^2 (bei AlZnMgCu 1,5)
2.2	Sehr günstig (infolge spanbrechender Zusätze)	Gut	Gering ($v_{\max} \approx 2500 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1} \approx 450$ bis 500 N/mm^2
3.1	Günstig	Gut	Mittel (ansteigend mit Si-Geh. und Härte. $v_{\max} \approx 1200 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1} \approx 450 \text{ N/mm}^2$
3.2	Bedingt brauchbar (bereits bei geringem Verschleiß langspanend)	Mittel	Mittel ($v_{\max} \approx 1200 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1} \approx 450 \text{ N/mm}^2$
3.3	Bedingt brauchbar (Bröckelspäne)	Gut	Groß ($v_{\max} \approx 500 \text{ m/min}$)	$k_{S1,1} \approx 400 \text{ N/mm}^2$

¹⁾ vgl. Tabelle 2

²⁾ Schneidstoff: Hartmetall K10 (Standzeit ca. 60 min)

³⁾ Angaben für $k_{S1,1}$ beziehen sich auf $v = 600 \text{ m/min}$

4. Einflüsse von Schnittbedingungen und Werkzeuggeometrie

Die Schnittbedingungen beeinflussen vor allem den Verschleiß sehr stark, die Spanformen hingegen nur wenig. Die wesentlichen Einflussgrößen sind die Schnittgeschwindigkeit v , der Vorschub s , die Schnitttiefe a . Hinzu kommt der erhebliche Einfluss von Kühlschmierstoffen. Von den Kenngrößen des Werkzeuges sind (neben dem Schneidstoff, auf den im nächsten Abschnitt eingegangen wird) vor allem der Spanwinkel γ und der Zustand von Schneide und Spanfläche bedeutsam. Für Aluminium ist kennzeichnend, dass es mit großem

positiven Spanwinkel bearbeitet werden sollte und dass die Schneide scharf ausgebildet sein muss (polierte Flächen).

Einen Überblick über die Auswirkungen im Einzelnen gibt Tabelle 4. Aus dieser (für das Drehen gültigen) Darstellung lässt sich ablesen, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, wenn eines oder mehrere der Zerspanungskriterien nicht befriedigen. Unberücksichtigt ist in dieser Übersicht der Einfluss eines unterbrochenen Schnittes, der den Verschleißfortschritt stark beschleunigt.

Tabelle 4: Einflüsse von Schnittbedingungen und Werkzeuggeometrie beim Drehen von Aluminiumwerkstoffen

Einflussgröße	Zerspanungskenngröße			
	Spanform	Oberfläche	Verschleiß	Schnittkraft
Schnittgeschwindigkeit v	○	● Etwas geringere Rautiefe bei steigender Schnittgeschwindigkeit	● Deutlich höher bei steigender Schnittgeschwindigkeit	● Geringer bei steigender Schnittgeschwindigkeit
Vorschub s	● Bei größerem Vorschub enger gewendelte bzw. gebrochene Späne	● Kinematischer Zusammenhang: $R_t \sim s$	● Etwas höher bei steigendem Vorschub	● Degressiver Schnittkraftanstieg mit dem Vorschub
Schnitttiefe a	● Längere Späne bei größerer Schnitttiefe	● Schlichten mit geringer Schnitttiefe	● Etwas höher mit wachsender Schnitttiefe	● Schnittkraft ist der Schnitttiefe proportional
Spanwinkel γ	● Längere Späne bei größerem Spanwinkel	● Etwas geringere Rautiefe bei größerem Spanwinkel	○	● Geringere Schnittkraft bei großem Spanwinkel
Zustand von Spanfläche und Schneide	○	● Schnittkantenrauheit formt sich ab	● Beschleunigter Verschleißfortschritt angegriffener Schneiden	● Schnittkraft wächst stark mit dem Verschleißfortschritt
Kühlung bzw. Schmierung	● Kühlung fördert den Spanbruch	● Schmierstoffe verringern die Rauheit	● Kühlschmierstoffe senken den Verschleiß	○

- Sehr geringer oder kein Einfluß
- Mäßiger Einfluß
- Großer Einfluß

5. Schneidstoffe für die Aluminiumzerspanung

Gebräuchliche Schneidstoffe für die Aluminiumbearbeitung sind Werkzeugstähle, Hartmetall und – heute Stand der Technik – Diamant. Jeder dieser Schneidstoffe hat Vor- und Nachteile und sein bevorzugtes Einsatzgebiet. Das wesentliche Kriterium bei der Schneidstoffauswahl ist das Verschleißverhalten des zu bearbeitenden Aluminiumwerkstoffes. Entsprechend ihrer unterschiedlichen mechanischen und thermischen Belastbarkeit (**Bild 5**) eignen sich Werkzeuge aus Werkzeugstahl, bevorzugt für die Bearbeitung von Aluminiumlegierungen mit geringer Verschleißwirkung und sol-

che aus Diamant für besonders stark verschleißende Aluminiumwerkstoffe. Dazwischen liegt das Einsatzgebiet von Hartmetallwerkzeugen, die bei der Aluminiumbearbeitung die weitaus größte Verbreitung besitzen. Da die Werkzeugkosten mit steigender Warmhärte (also in der Reihenfolge: Werkzeugstahl-Hartmetall-Diamant) deutlich ansteigen, entscheidet in den meisten Fällen die Wirtschaftlichkeit über die Schneidstoffauswahl. Für besonders hohe Anforderungen an die zerspannte Oberfläche kann es sich als notwendig erweisen, höherwertige Schneidstoffe einzusetzen (**Bild 6**).

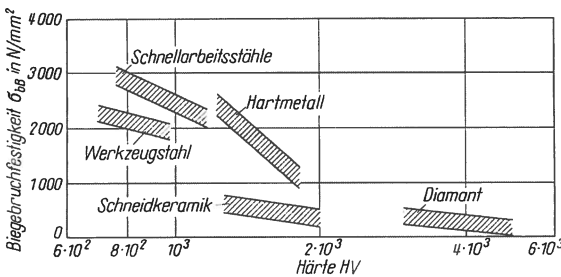


Bild 5: Biegebruchfestigkeit verschiedener Schneidstoffe

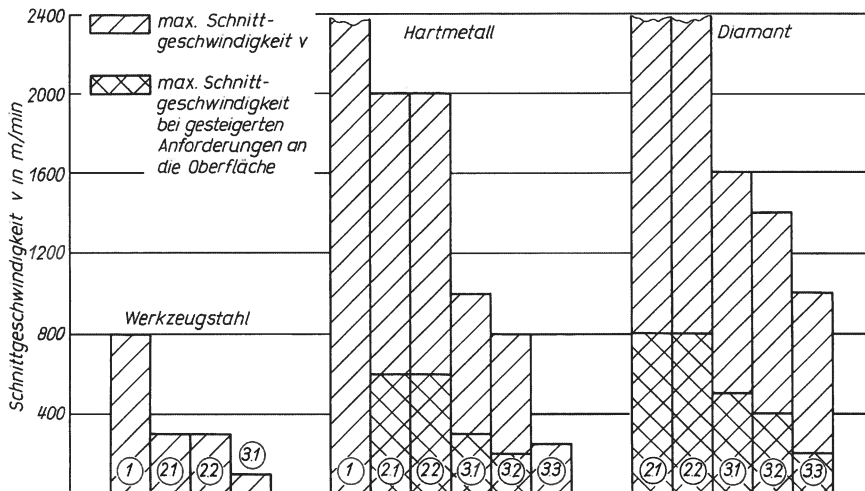


Bild 6: Größtzulässige Schnittgeschwindigkeit beim Drehen mit verschiedenen Schneidstoffen

5. Schneidstoffe für die Aluminiumzerspanung

5.1 Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl

Die Vorzüge der Schnellarbeitsstähle (HSS) liegen in ihrer guten Zähigkeit, der hohen Biegebruchfestigkeit, ihrer einfachen Bearbeitbarkeit (auch durch Umformen) und in dem relativ geringen Preis. Mit diesen Eigenschaften haben sich HSS-Werkzeuge vor allem für Sonder- und Formwerkzeuge, Wendelbohrer, Fräswerkzeuge mit geringen Abmessungen, Gewindeschneidwerkzeuge u. ä. bewährt. Für die Aluminiumbearbeitung werden im Wesentlichen folgende Sorten empfohlen:

Wendelbohrer	S	12-1-2
Gewindebohrer	S	9-1-2
Fräser	S	12-1-2
Drehwerkzeuge	S	12-1-4
Profildrehwerkzeuge	S	12-1-2

Für die Bearbeitung der stark verschleißenden Werkstoffgruppe 3 reicht die Schneidhaltigkeit von Schnellarbeitsstahl nicht aus.

5.2 Hartmetallwerkzeuge

Zur Aluminiumbearbeitung bevorzugt man heute nahezu ausnahmslos die Sorte K10, nur in Ausnahmefällen können die härtere Sorte K01 (z. B. für die Werkstoffgruppe 3.3) und die zähere Sorte K20 (z.B. für unterbrochenen Schnitt) eingesetzt werden. Heute stehen leistungsfähige, auf Wendeschneidplattensystemen basierende Werkzeugkonstruktionen zur Verfügung, und zwar nicht nur zum Drehen, sondern auch zum Fräsen, Bohren, Reiben u. a. (**Bild 7**). Beschichtete Hartmetalle, wie sie sich in den letzten Jahren bei der Stahlbearbeitung gut bewährt haben, versprechen bei der Aluminiumbearbeitung keine Vorteile.

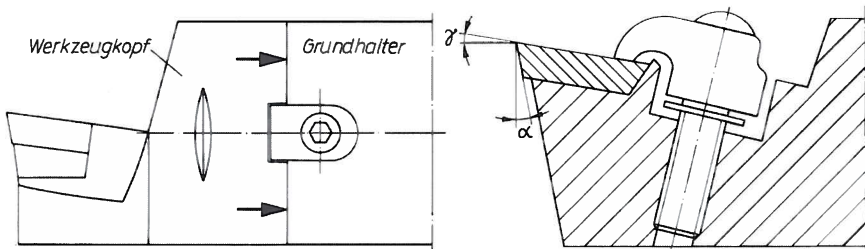


Bild 7: Klemmsysteme für Hartmetall-Wendeschneidplatten
links: Werkzeughalter mit komplett auswechselbarem Werkzeugkopf.
Der Grundhalter bleibt beim Werkzeugwechsel in der Maschine.
rechts: Klemmechanismus für einzelne Platten

5. Schneidstoffe für die Aluminiumzerspanung

5.3 Diamantwerkzeuge

Diamant bietet sich wegen seiner extrem großen Warmhärte und seiner chemischen Beständigkeit gegenüber Aluminium als Schneidstoff zur Aluminiumbearbeitung an. Monokristalle (Natur-) Diamanten werden zur Feinstbearbeitung eingesetzt, wobei extrem glatte Oberflächen von $R_t < 0,1 \mu\text{m}$ erzielt werden. Wesentlich größere Bedeutung haben polykristalline Diamanten (PKD) erlangt, bei denen eine dünne Diamantschicht auf eine Hartmetallunterlage aufgesintert ist. Im Handel sind Schneidplättchen in unterschiedlichen Formen und Abmessungen erhältlich. Darüber hinaus werden heute Sonderwerkzeuge, Fräswerkzeuge und Bohrwerkzeuge mit PKD-Schneiden angeboten (Bild 8). Bevorzugte Anwendungsgebiete dieser (relativ teuren) Werkzeuge sind die Bearbeitung von Aluminiumwerkstoffen mit großem Verschleißangriff (Kolbenbearbeitung, Motorblöcke) und die Bearbeitung auf hoch automatisierten Anlagen, bei denen Werkzeugstörungen die Wirtschaftlichkeit der Bearbeitung stark beeinträchtigen würden.



Bild 8: Diamantbestückte Werkzeuge zur Aluminiumbearbeitung

5.4 Ungeeignete Schneidstoffe

Schneidkeramik hat sich für die spanende Aluminiumbearbeitung als ungeeignet erwiesen. Zwischen Aluminium und der Schneidstoffkomponente Aluminiumoxid treten ungewollte chemische Reaktionen beziehungsweise chemisch-physikalische Vorgänge auf. Die Härte-träger werden dadurch zerstört und die Werkzeuge verschleifen vorzeitig.

Werkzeuge aus Titan-Carbid (TiC) und kubisch kristallinem Bornitrid (CBN) haben sich gleichfalls als ungeeignet zur Aluminiumbearbeitung erwiesen. Beim Drehen übereutektischer AlSi-Gusslegierungen (Gruppe 3.3) erliegen die Schneiden bei $v = 600\text{m/min}$ infolge hohen Freiflächen- und Kolkverschleißes bereits nach wenigen Minuten.

6. Maschinen und Hilfseinrichtungen

Für universelle Zerspanungsprobleme und gemischte Fertigungen ist man weitgehend auf konventionelle Maschinen angewiesen. In diesen Fällen ist die nachträgliche Drehzahlsteigerung meist keine befriedigende Lösung, da Maschinensteifigkeit und Antriebsleistung in der Regel nicht ausreichen. Wegen seiner insgesamt guten Zerspanbarkeit ist Aluminium auf Universalmaschinen durchaus gut zu bearbeiten.

Für die optimale Aluminiumzerspanung werden an die Maschinen verschiedene Anforderungen gestellt, denen konventionelle Anlagen nur bedingt entsprechen:

Hohe Schnittgeschwindigkeit:

Meist wird die vom Werkzeug her zulässige Schnittgeschwindigkeit nicht annähernd erreicht.

Große Antriebsleistung:

Die wesentlich größere Schnittgeschwindigkeit bei der Aluminiumbearbeitung kann trotz der geringen Schnittkräfte ein Mehrfaches der für die Stahlbearbeitung benötigten Leistung erforderlich machen.

Große dynamische Steifigkeit infolge der höheren Drehfrequenz.

Geeigente Spannmittel:

Das Spannen von Aluminiumwerkstücken kann relativ aufwendig sein (hohe Drehfrequenz bei Futterarbeiten und die wesentlich größere Verformung von Alu-

minium unter Einwirkung von Schnitt- und Spannkraften; E-Modul des Aluminiums; $70\,000\text{ N/mm}^2$, etwa 30 % des E-Moduls von Stahl).

Ausreichende Späneabfuhr:

Es kann ein Vielfaches der bei der Stahlbearbeitung entstehenden Spänemenge anfallen.

Arbeitsschutzmaßnahmen:

Die große Schnittgeschwindigkeit macht besondere Maßnahmen unbedingt erforderlich.

Automatischer Arbeitsablauf:

Bei sehr großer Schnittgeschwindigkeit ist eine zuverlässige Steuerung von Hand oft nicht mehr möglich.

Kühlschmiereinrichtungen:

Maschinen zur Aluminiumbearbeitung sollten mit entsprechenden Einrichtungen ausgestattet oder für Minimalmengenschmierung ausgelegt sein.

Die Anforderungen machen deutlich, dass eigens für die Aluminiumbearbeitung konzipierte Maschinen aufwändiger sind als konventionelle Maschinen. Anlagen dieser Art sind deshalb vorzugsweise dort im Einsatz, wo große Serien oder Teilefamilien aus Aluminium zu bearbeiten sind; in der Kolbenfertigung, Fräsmaschinen für Integralbauteile, Felgenbearbeitungsanlagen, Transferstraßen für die Gehäusefertigung in der Automobilindustrie u. a.

7. Kühlschmierstoffe

Kühlschmierstoffe haben bei der Aluminiumbearbeitung eine Doppelfunktion: Als Schmierstoff verringern sie die Reibung des ablaufenden Spanes und wirken so der Wärmeentwicklung an der Schneide, dem Werkzeugabrieb und der Aufbauschneidenbildung entgegen. Als Kühlmittel führen sie die Wärme von der Schneide ab und senken so den Verschleiß. Wegen der großen Wärmeausdehnung von Aluminium ($\alpha = 23$ bis $24 \cdot 10^{-6} 1/K$) ist häufig auch mit Rücksicht auf die Maßhaltigkeit des Werkstückes eine wirksame Kühlung erforderlich. Die beste Schmierwirkung erreicht man mit Schneidölen. Für kombinierte Schmier- und Kühlwirkung sind Emulsionen aus Schneidölen und Wasser einzusetzen. Die Schmierwirkung ist dabei um so besser, je fetter die Emulsionen eingestellt sind. Beim Bohren und Gewindebohren wird zuweilen auch Spiritus als Kühlmittel verwendet. Die Art des einzusetzenden Kühlschmierstoffes richtet sich nach mehreren Faktoren: Aluminiumwerkstoff, Zerspanungsverfahren, Schneidstoff und Schnittbedingungen.

Schneidöle haben beim Aluminiumzerspanen vor allem die Aufgabe, die Reibung an der Spanfläche zu verringern und einen Trennfilm zu bilden, der Aufbauschneiden und Verklebungen entgegen wirkt. Bevorzugte Einsatzgebiete von Schneidölen sind:

- Zerspanen weicher Knetwerkstoffe (Gruppe 1)
- Zerspanungsvorgänge, die mit geringer Schnittgeschwindigkeit ablaufen
- Zerspanungsverfahren mit großem Reibanteil bei geringer bis mittlerer Schnittgeschwindigkeit (z.B. Gewin-deschneiden).

Emulsionen mit etwa 7,5 % Ölgehalt werden benutzt, wenn gekühlt werden muss und gleichzeitig verfahrensbedingt erhebliche Reibung auftritt (z.B. beim Bohren oder Sägen). Emulsionen mit maximal 5% Ölgehalt werden eingesetzt, wenn es hauptsächlich auf gute Kühlung ankommt (z.B. beim Drehen und Fräsen von Knetwerkstoffen hoher Festigkeit oder AlSi-Gusswerkstoffen).

Unter gewissen Bedingungen kann ohne jegliche Kühlschmierstoffe gearbeitet werden, zum Beispiel wenn Werkstücke aus Aluminiumwerkstoffen der Gruppe 2 oder 3.1 bei mittleren Schnittgeschwindigkeiten mit HM-Werkzeugen gedreht werden oder genau abgestimmte Zerspanungen in Trocken- bzw. Minimalmengenschmierung durchgeführt werden, s. Kapitel 9. Diese Fälle sind jedoch derzeit die Ausnahme, in den meisten Fällen werden zur Aluminiumzerspanung noch Kühlschmierstoffe eingesetzt.

8. Aluminiumhalbzeuge für die Zerspanung

Die Aluminiumindustrie bietet bei den Knetlegierungen Halbzeuge an, die durch spannbrechende Legierungszusätze wie Blei, Bismut und Zinn besonders gut zu zerspanen sind. Die bisher verwendeten Legierungen AlMgSiPb, AlCuBiPb und AlCuMgPb haben aufgrund des Bleigehaltes zunehmend Akzeptanzprobleme. Die Halbzeugindustrie hat deshalb neue Legierungen der Gattung AlMgSiSnBi und AlCuSnBi als Ersatz entwickelt.

Anders als bei Stahlwerkstoffen ist die Wärmebehandlung von Aluminiumhalbzeugen beim Verarbeiter, zum Beispiel zum Spannungsarmglühen nicht üblich. Dazu sind sehr genaue Kenntnisse der thermomechanischen Entstehung des Werkstoffes, genaue Ofeneinrichtungen und Möglichkeiten zur Beurteilung von entstandenen Gefügen erforderlich. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass wichtige Werkstoffeigenschaften wie Festigkeit und Korrosionseigenschaften unzulässig beeinträchtigt werden. Deshalb sollte bei Werkstücken, bei denen es auf die Maßhaltigkeit ankommt, von vornherein auf eigenspannungsarme

Halbzeuge zurückgegriffen werden. Diese werden als Kneithalbzeuge und Gusshalbzeuge in den unterschiedlichen Formen als Stangen- und Plattenmaterial angeboten. In der DIN EN 515 (Werkstoffzustände von Aluminium und Aluminiumlegierungen) sind eigens dafür Werkstoffzustandsbezeichnungen eingeführt.

Eigenspannungsarme Zustände sind z. B.:

W5XX
T35XX
T45XX
T615XX
T65XX
T735XX

Die Halbzeuge sind durch die Kombination von thermischer und mechanischer Behandlung in eigenspannungsarme Zustände gebracht worden. Dazu wird entweder gereckt oder gestaucht. Der Reckgrad beträgt üblicherweise für Bleche 0,5 bis 3 %, für gezogene Rohre 0,5 bis 3 % und für Freiformschmiedestücke 1 bis 5 %. Stauchbehandlungen bewegen sich im Bereich von 1 bis 5 %.

9. Bearbeitungsverfahren

9.1 Drehen

Die Zerspanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen durch Drehen ist in den Tabellen 3 und 4 ausführlich dargestellt. Richtwerte für die Drehbearbeitung haben sich daran zu orientieren, auf welche Zerspanbarkeitskriterien es im Einzelfall besonders ankommt und ob Vorgaben

(zum Beispiel durch die Maschinenleistung) berücksichtigt werden müssen. Bei den Angaben in Tabelle 5 handelt es sich um (am Verschleiß orientierte) Anhaltswerte, die den Bereich aufzeigen, aus dem vor der Bearbeitung größerer Serien die günstigsten Werte durch Arbeitsstudien zu ermitteln sind.

Tabelle 5: Richtwerte für das Drehen von Aluminium

Schnittgröße	Schneidstoff	Knetwerkstoffe		AlSi-Gusswerkstoffe	
		geringer Festigkeit (Gruppe 1)	höherer Festigkeit Automatenwerkstoffe (Gruppe 2)	bis ca. 12% Si (Gruppe 3.1, 3.2)	>12% Si (Gruppe 3.3)
Spanwinkel γ in°	HSS HM Diamant	25 bis 35 max. 30 1)	20 bis 30 20 bis 30 6	12 bis 16 12 bis 16 6	1) 8 bis 12 6
Freiwinkel α in°	HSS HM Diamant	7 bis 12 7 bis 12 1)	7 bis 10 5 bis 8 12	5 5 12	1) 5 12
Schnittgeschw. v in m/min	HSS HM Diamant	bis 800 bis 4000 1)	bis 400 bis 1500 bis 1500	bis 200 bis 1000 bis 1400	1) bis 250 bis 800
Vorschub s im mm/U ²	HSS HM Diamant	bis 0,8 bis 0,8 1)	bis 0,5 bis 0,6 bis 0,3	bis 0,5 bis 0,6 bis 0,3	1) bis 0,6 bis 0,2
Spantiefe a in mm	HSS HM Diamant	bis 6 bis 6 1)	bis 6 bis 6 bis 1	bis 6 bis 6 bis 1	1) bis 4 bis 0,8
Kühlschmierstoff	HSS HM Diamant	Schneidöl evtl. Schneidöl 1)	Emulsion evtl. Emulsion Emulsion	Emulsion Emulsion Emulsion	1) Emulsion Emulsion

1) Nicht geeignet bzw. nicht üblich;

2) zum Schlichten geringere Werte

9. Bearbeitungsverfahren

9.2 Fräsen

Die Zerspanbarkeit durch Fräsen unterscheidet sich von der Drehbearbeitung in verschiedenen Punkten:

1. Die Spanform ist beim Fräsen von nur untergeordneter Bedeutung, da die Späne in der Spankammer zwangsläufig abtransportiert werden. Die Spankammern sollten geräumig genug sein, um das relativ große Spänevolumen aufzunehmen. Fräser zur Aluminiumbearbeitung haben deshalb eine geringere Zähnezahl als solche für Stahl. Heute haben alle namhaften Werkzeuglieferanten Fräser für Aluminium im Programm.
2. Die Oberfläche ist beim Fräsen im Allgemeinen etwas besser als beim Drehen. Das ist im Vorgang des Nachschneidens begründet, bei dem Oberflächenrauheiten durch die nachfolgenden Zähne teilweise eingeebnet werden. Mit Breitschlichtschneiden in Messerköpfen nutzt man diese Verfahrenseigenart gezielt zur Oberflächenverbesserung aus.

3. Der Verschleiß gehorcht im Wesentlichen den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie das Drehen (**Bild 9**), insgesamt ist er jedoch infolge der stoßartigen Schneidenbelastung durch unterbrochenen Schnitt größer. Zudem hängt er von den Eingriffsverhältnissen ab.

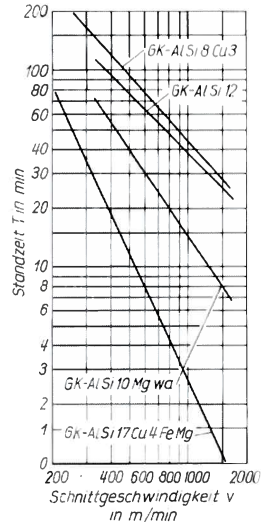


Bild 9: Standzeit beim Planfräsen verschiedener AlSi-Gusswerkstoffe mit Hartmetallwerkzeugen

9. Bearbeitungsverfahren

4. Anstatt der Schnittkräfte verwendet man beim Fräsen die spezifische Zerspanungsleistung Q (in $\text{cm}^3/\text{kW} \cdot \text{min}$) als Kenngröße. Als Richtwert gilt bei mittlerer Schnittgeschwindigkeit $Q \approx 40 \text{ cm}^3/\text{kW} \cdot \text{min}$ (für Stahl: $Q \approx 20 \text{ cm}^3/\text{kW} \cdot \text{min}$). Mit wachsender Schnittgeschwindigkeit steigt dieser Wert deutlich an.

Richtwerte für die Fräsbearbeitung enthält Tabelle 6. Die Angaben zu Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe stützen sich auf den Verschleiß, der aus den genannten Gründen das beim Fräsen wesentliche Zerspanungskriterium ist. Es ist zu beachten, dass die Leistung konventioneller Werkzeugmaschinen in den meisten Fällen nicht ausreicht, diese Werte auszunutzen.

Tabelle 6: Richtwerte für das Fräsen von Aluminiumwerkstoffen

Schnittgröße	Schneidstoff	Knetwerkstoffe	Knetwerkstoffe	AlSi-Gusswerkstoffe	
		geringer Festigkeit (Gruppe 1)	höherer Festigkeit Automatenwerkstoffe (Gruppe 2)	< 12% Si (Gruppe 3.1, 3.2)	>12% Si (Gruppe 3.3)
Spanwinkel γ in°	HSS HM Diamant	15 bis 30 10 bis 20 (25) 3)	15 bis 25 10 bis 20 2	12 bis 20 8 bis 20 2	3) 8 bis 20 2
Freiwinkel α in°	HSS HM Diamant	9 bis 20 9 bis 20 3)	9 bis 20 9 bis 20 6	10 bis 20 10 bis 20 6	3) 10 bis 20 6
Schnittgeschw. v in m/min	HSS HM Diamant	bis 1200 bis 2500 3)	bis 800 bis 2500 bis 2500	bis 600 bis 1500 bis 2500	3) bis 300 bis 1000
Vorschub s_z 1) in mm/Zahn max.	HSS HM Diamant	etwa 0,3 etwa 0,3 3)	etwa 0,3 etwa 0,3 etwa 0,2	etwa 0,2 etwa 0,2 etwa 0,2	3) etwa 0,2 etwa 0,15
Schnitttiefe 2) a in mm	HSS HM Diamant	bis 6 (∇) bis 0,5 (∇∇) bis 8 (∇) bis 0,5 (∇∇) 3) 1)	bis 6 (∇) bis 0,5 (∇∇) bis 8 (∇) bis 0,5 (∇∇) bis 2,5 (∇) bis 0,5 (∇∇)	bis 6 (∇) bis 0,8 (∇∇) bis 8 (∇) bis 0,8 (∇∇) bis 2,5 (∇) bis 0,5 (∇∇)	3) bis 8 (∇) bis 0,8 (∇∇) bis 2,5 (∇) bis 0,5 (∇∇)
Kühlschmierstoff	HSS HM Diamant	(Emulsion) – 3)	Emulsion (Emulsion) (Emulsion)	Emulsion (Emulsion) (Emulsion)	3) Emulsion Emulsion

1) Die Vorschubwerte beim Schaftfräsen sind zusätzlich vom Fräserdurchmesser abhängig;
bis 6 mm Fräserdurchmesser 0,1 mm/Z (∇) bzw. bis 0,08 mm/Z (∇∇);
bis 20 mm Fräserdurchmesser 0,2 mm/Z (∇) bzw. bis 0,12 mm/Z (∇∇);
bis 50 mm Fräserdurchmesser 0,3 mm/Z (∇) bzw. bis 0,17 mm/Z (∇∇);

2) Schnitttiefe beim Schaftfräsen bis $D/2$ (∇)

3) Nicht geeignet

9. Bearbeitungsverfahren

9.3 Bohren

Das Bohren unterscheidet sich von der Drehbearbeitung durch seine kinematischen Besonderheiten und die wesentlich geringere Schnittgeschwindigkeit. Zur Beurteilung der Zerspanbarkeit durch Bohren sind deshalb teilweise andere Bewertungsgesichtspunkte als beim Drehen maßgeblich:

- Die Maßabweichung (Über- oder Untermaß) hängt vom bearbeiteten Werkstoff und von der Effektivität der Kühlung ab. Für maßgenaue Bohrungen sind scharfe Werkzeuge und reichliche Kühlung mit Emulsionen wichtig.
- Die Oberflächengüte der Bohrungswand ist infolge der Reibung des abgeführten Spanes verfahrensbedingt schlechter als diejenige gedrehter Oberfläche. Für besondere Anforderungen sind deshalb nachfolgende Arbeitsgänge (Reiben, Senken) erforderlich.

- Das Drehmoment als maßgebliche Leistungskenngröße beim Bohren ist wegen des hohen Reibanteiles relativ groß (im Vergleich zu Stahl). Die Haupteinflussgröße ist der Vorschub.
- Der Verschleiß tritt vor allem an den Schneidenecken und Führungsfasen (wo die Schnittgeschwindigkeit am größten ist) auf. Der Verschleiß ist bei den Werkstoffen der Gruppe 3 am größten.

Bei weichen Aluminiumwerkstoffen besteht die Gefahr, dass die Spannuten verstopfen und der Bohrer bricht. Man begegnet dem durch eine Reihe von Maßnahmen, die den Spanablauf begünstigen: Schneidöl, polierte Spannuten, positiver Schnittwinkel. Bei tiefen Bohrungen sind zudem Entspannhübe vorzusehen. Die Werte in Tabelle 7 gelten für leichte Schnitte (Legierungen mittlerer und höherer Festigkeit, gute Schmierung). In weiche Knetwerkstoffe ist mit geringerer Bohrtiefe/Hub zu bohren.

9. Bearbeitungsverfahren

Tabelle 7: Einflüsse auf die Zerspanbarkeit beim Bohren von Aluminium

Einflußgröße	Zerspanungskenngröße				Empfehlungen für Aluminium
	Durchmesser-differenz	Oberfläche	Drehmoment	Verschleiß	
Schnittgeschwindigkeit v	○	○	○	● Hohe Wärmebelastung der Schneide bei großer Schnittgeschwindigkeit	v = 50-100 m/min (Gr.3 etwas geringer) v = 200 m/min mit Kühlkanalbohrern
Vorschub s	○	○	● Drehmoment ist Vorschub proportional	○ Günstiger bei größerem Vorschub	Anhaltswert: Doppelt so groß wie in Stahl
Kühlschmierstoff	● Reichliche Kühlung mit Emulsion bei Werkstoff-Gruppe 3	● Besser bei guter Kühlung bzw. Schmierung	● Verring. des Reibanteiles durch Schmierung	● Kühlschmierung unbedingt erforderlich	Gruppe 1: Schneidöl Gruppe 2: Emulsion ca. 8% Gruppe 3: Emulsion ca. 5%
Werkzeuggeometrie	○ Übermaß bei ungünstiger Geometrie	○	● Deutlich größer bei ungünstiger Geometrie	○ Ungünstige Werkzeuggestaltung begünstigt indirekt den Verschleiß	Spitzenwinkel: 125 bis 140° Drallwinkel: 30 bis 45° Spanwinkel: positiv
Schneidenzustand	○ Übermaß bei verschlissenen Werkzeugen infolge starker Erwärmung	● Besser bei scharfen Werkzeugen	● Geringer bei scharfen Werkzeugen	● Ungenügend Schneiden verschleiben beschleunigt	Scharfe Schneiden erforderlich
Werkstoff	● Gruppen 1 und 2 neigen zu Übermaß, Gruppe 3 zu Untermaß	● Mindestrauchwert: R _a = 5-10 µm (Gruppe 1) R _a = 10-30 µm (Gruppe 2) R _a = 20-50 µm (Gruppe 3)	● Größer bei den Werkstoff-Gruppen 1 und 3.2	● Großer Verschleißangriff bei Werkstoff-Gruppe 3	

○ Sehr geringer oder kein Einfluß

● Mäßiger Einfluß

● Großer Einfluß

9. Bearbeitungsverfahren

Für die Werkzeuggestaltung und die Schnittbedingungen ergeben sich aus den genannten Verfahrenskennzeichen folgende Konsequenzen:

1. Bohrergeometrie:

Wendelbohrer unterteilt man in drei Grundtypen mit den Bezeichnungen N, H und W (**Bild 10**). Für Aluminium ist der Typ W mit größeren Spitzenwinkeln von max. 140° und großen Drallwinkeln von 30 bis 45° geeignet.

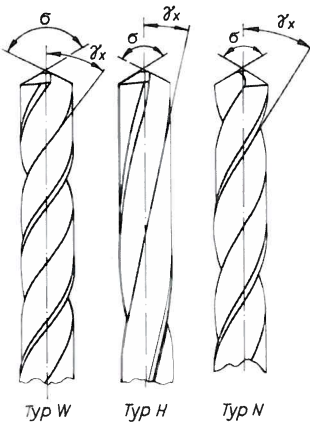


Bild 10: Wendelbohrerausführungen. Für die Aluminiumbearbeitung ist der Typ W geeignet

2. Schnittbedingungen:

Die Schnittgeschwindigkeit bewegt sich zwischen 40 und 100 m/min. In AISi-Gusswerkstoffen (Gruppe 3) bohrt man mit geringeren Werten; Kühlkanalbohrer gestatten max. etwa 200 m/min. Die Vorschübe können etwa doppelt so hoch an-

gesetzt werden wie beim Bohren in Stahl. Anhaltswerte gibt **Bild 11**. In Werkstoffe mit großer Verschleißwirkung sollte mit etwas größerem Vorschub gebohrt werden.

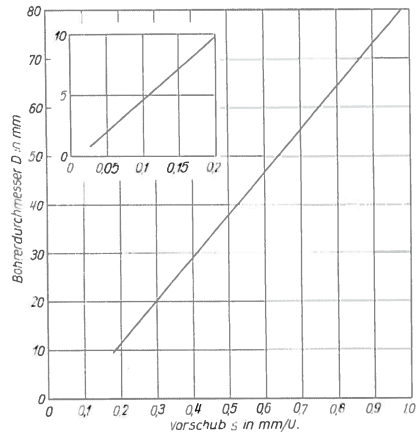


Bild 11: Richtwerte für Vorschübe beim Bohren in Aluminium

3. Kühlschmierstoff:

Die Auswahl des Kühlschmierstoffes ist beim Bohren in Aluminium entscheidend. Schneidöle sind für weiche Knetwerkstoffe (Gruppe 1) geeignet, die zum Kleben und Schmieren neigen. Fette Emulsionen (etwa 8 %) sind für Knetwerkstoffe mittlerer und hoher Festigkeit günstig. 5 % -Emulsionen sind für AISi-Gusswerkstoffe (Gruppe 3) einzusetzen. Dabei kommt es darauf an, dass der Kühlschmierstoff möglichst bis zur Bohrer Spitze, wo die Wärme entsteht, vordringen kann (siehe 6.).

9. Bearbeitungsverfahren

9.4 Senken, Reiben, Gewindeschneiden, Räumen

Obwohl diese Verfahren von ihrer Kinematik her nicht miteinander vergleichbar sind, ergeben sich bei der Aluminiumbearbeitung doch ähnliche Gesichtspunkte. Ihr gemeinsames Kennzeichen sind die relativ teuren und gegen Verschleiß empfindlichen Werkzeuge, die aus Gründen der Wirtschaftlichkeit – besonders für die stark verschleißenden Legierungen der Gruppe 3 – bei geringen Schnittgeschwindigkeiten von etwa 20 m/min eingesetzt werden. Da bei solch geringen Schnittgeschwindigkeiten die Gefahr einer Aufbauscheidenbildung mit all ihren negativen Auswirkungen auf die Oberflächengüte groß ist, sind bei all diesen Verfahren große Spanwinkel und eine gute Schmierung (Schneidöl, Petroleum) erforderlich.



Bild 12: Reibahle mit auswechselbarem Hartmetallmesser für die Aluminiumbearbeitung

Zur Bearbeitung von Aluminium-Knetwerkstoffen (Gruppen 1 und 2) sind wegen des sehr geringen Verschleißangriffes HSS-Werkzeuge sehr gut geeignet. Für AlSi-Gusslegierungen (Gruppe 3) werden hartmetallbestückte Werkzeuge eingesetzt. Als Beispiel ist in **Bild 12** eine Reibahle mit auswechselbarem Hartmetallmesser für Aluminium dargestellt. Genauere Auskunft geben das auf der letzten Seite genannte weiterführende Schrifttum sowie die Werkzeughersteller.

9.5 Sägen

Aluminiumwerkstoffe werden mit Kreis- und Bandsägen bearbeitet. Beim Bandsägen arbeitet man mit flexiblen Werkzeugen (Sägebänder), die über Rollen umgelenkt und in gewissen Fällen zusätzlich noch verwunden werden. Zum Kreissägen werden demgegenüber starre Werkzeuge (Sägeblätter) eingesetzt. Aus diesem Unterschied resultieren eine Anzahl charakteristischer Verfahrensmerkmale:

1. Unterschiedliche Schnittleistungen. Die starren Sägeblätter können höher belastet werden. Sägebänder sind demgegenüber durch die Umlenkung und Verwindung zusätzlich beansprucht.
2. Dickerer Schnittkanal beim Kreissägen, das heißt mehr Abfall, je nach Querschnittsform.
3. Gratfreier Schnitt ist nur mit Kreissägen möglich. Beim Bandsägen ist ein gewisser Grat nicht ganz zu vermeiden.

Die Teilung ist weit zu wählen, damit geräumige Zahnücken Platz finden. Wichtig ist, dass die Zahnücken gut ausgerundet sind.

9. Bearbeitungsverfahren

Sägebänder können aus legiertem Werkzeugstahl, aus HSS oder aus Hartmetall bestehen. Sie werden, damit sie sich freischneiden können, geschränkt. Es sollten dabei mindestens 3 und höchstens 30 Zähne gleichzeitig in Eingriff sein (Querschnitt!). Für Aluminium sind die Rechts-Links-Schrägung RLS (für gut zerspanbare Legierungen) und die Standardschrägung StS (für harte Legierungen der Gruppe 3) geeignet. Von den bekannten Zahnformen sind für Aluminium der Klauenzahn und der Lücken Zahn wegen ihrer großen Spanwinkel geeignet (**Bild 13**).

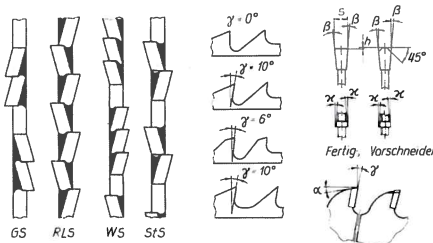


Bild 13: Zahnformen für Sägewerkzeuge (Sägebänder und Kreissägeblätter) zur Aluminiumzerspannung

Sägeblätter aus Schnellarbeitsstahl sind zum Sägen von Knetwerkstoffen und AlSi-Gusswerkstoffen mit geringem Siliziumgehalt (Gruppen 1, 2 und 3.1) ausreichend. Kleinere Sägeblätter sind vollständig aus Schnellarbeitsstahl hergestellt und – damit sie beim Schnitt nicht klemmen – nach der Mitte hin dünner geschliffen. Größere Sägeblätter bestehen aus gehärtete Stahlblechscheiben mit aufgelöteten, gelöteten oder geklemmten Zahnsegmenten aus HSS. Hartmetallbestückte Sägeblätter bestehen aus einem

Stahlgrundkörper mit aufgelöteten HM-Platten. Man erreicht mit diesen Sägeblättern je nach Aluminiumwerkstoff höchste Schnittgeschwindigkeiten (in speziellen Fällen bis zu max. $v = 5.400$ m/min). Voraussetzung sind allerdings Maschinen mit entsprechend hohen Antriebsleistungen. Die für Aluminium bevorzugte Zahnform ist der Bogenzahn (**Bild 13**), der einfach oder mit Vor- und Nachschneider ausgeführt sein kann.

Neuere Entwicklungen setzen auf die Optimierung der Zahnform, um die Rauigkeit der Schnittoberfläche zu senken und einen gratfreien Schnitt besonders von Aluminiumprofilen zu ermöglichen. Erreicht wird dies durch Verringerung der Spannungsdicke über kleine Einstellwinkel im qualitätsbildenden Teil des Schneideneingriffs. In Verbindung mit balligen Nebenschneiden entstehen so Oberflächenrauigkeiten, die nur 15 bis 20 % derjenigen betragen, die mit herkömmlichen Zahngeometrien erzielt werden.

Bei der Auswahl der Schnittbedingungen sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Schnittflächenrauheit ist bei feiner Zahnteilung und geringem Vorschub am besten.
- Der Vorschub ist so festzulegen, dass das Spänevolumen in der Zahnluke Platz findet.
- Als Kühlschmierstoffe werden zum Sägen von Aluminiumwerkstoffen Rüböl und Emulsionen mit 5 bis 8 % Öl verwendet.

9. Bearbeitungsverfahren

- Als obere Schnittgeschwindigkeitsgrenzen gelten etwa für HSS-Sägeblätter $v = 1000$ m/min (Gr. 3.1 und 3.2) bis $v = 2000$ m/min (Gr. 1 und 2) sowie für HM-Sägeblätter $v = 3600$ m/min (Gr. 3.2 und 3.3) bis $v = 5400$ m/min (Gruppen 1 und 2).
- Die Trennleistungen betragen etwa $8 \text{ cm}^3 \text{ Al/kW} \cdot \text{min}$ (Bandsägen mit horizontaler Bandführung), $20 \text{ cm}^3 \text{ Al/kW} \cdot \text{min}$ (Bandsägen mit vertikaler Bandführung), $40 \text{ cm}^3 \text{ Al/kW} \cdot \text{min}$ (Kreissägen).

9.6 Schleifen*)

Aluminium lässt sich durch Schleifen gut bearbeiten, wenn folgende Hinweise beachtet werden:

- **Schleifscheiben:**
Siliziumkarbid mit Kunstharzbindung oder auch metallumhüllte synthetische Diamanten.
- **Schleifbänder:**
Textile Schleifkornt Träger mit Kunstharz- oder Vollkunstharzbindemittel.
- **Schleifhilfsmittel:**
Emulsionen 1:35, ggf. mit Netzmitteln versetzt. Steigende Konzentration wirkt dem Zusetzen der Scheibe entgegen (Grenzwerte sind Emulsionen 1:6).

- Schleifgeschwindigkeit:

Außenrundscheifen	28 bis 33 m/s
Innenrundscheifen	10 bis 30 m/s
Flachscheifen	20 bis 25 m/s
Trennscheifen	40 bis 80 m/s
Putzen	25 bis 50 m/s.

Mit einer an sich zu weichen Schleifscheibe kann noch befriedigend gearbeitet werden, wenn man die Schleifgeschwindigkeit steigert.

9.7 Sonstige Bearbeitungsverfahren

Ausführliche Auskunft über seltener eingesetzte Verfahrensvarianten gibt das weiterführende Schrifttum auf Seite 27 dieses Merkblattes.

Feinstbearbeitungsverfahren sind für Aluminium wegen der erreichbaren grossen Oberflächengüte ausgezeichnet geeignet. Bedeutung erlangt haben unter anderem das Glanzdrehen (Magnetspeicherplatten und Kopiertrommeln, $R_t < 0,1 \mu\text{m}$) mit Naturdiamanten und das Honen (z.B. laufbüchsenlose Kurbelgehäuse aus AlSi17Cu4Mg).

Gleitschliffverfahren werden für Werkstücke aus Aluminiumguss- und Knetwerkstoffen zum Entgraten, Glänzen, Beizen und Kugelpolieren mit Erfolg eingesetzt.

*) Die Schleifbearbeitung zur Oberflächenbehandlung ist in Merkblatt 0 5 ausführlich beschrieben.

10. Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC), Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung (MMS)

In der Luft- und Raumfahrt und dem Schienenfahrzeugbau ist die Hochgeschwindigkeitszerspanung schon länger eingeführt. Neu hinzugekommen ist die Großserienteilefertigung aus der Automobilindustrie, vorwiegend Gusswerkstoffe, und die Zerspanung großer Volumina. Der Aluminiumwerkstoff hat sich in diesen Bereichen durchgesetzt, da sich gegenüber der konventionellen Aluminiumbearbeitung zirka 30 bis 40 % Zerspanungszeit einsparen lässt.

Die nachfolgend aufgeführten Zahlenwerte sind Bearbeitungsbeispiele aus der Praxis und aus Forschungsarbeiten. Hierbei muss immer das System aus Werkzeugmaschine, Werkstückwerkstoff, Kühlschmiermittel (evtl. MMS oder Trockenbearbeitung) die geforderten Oberflächen- und Toleranzenqualität und das Spannsystem gesamthaft betrachtet werden.

Die grundlegende Idee der Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC) liegt darin, mit hoher Geschwindigkeit, zirka

15.000 bis 60.000 min^{-1} , das Metall zu bearbeiten. Die entstehende Wärme an den Schnittflächen wird dabei über die Späne abgeleitet. Sondermaschinen und -spannfutter erreichen in Einzelfällen Drehfrequenzen bis zu 100.000 min^{-1} .

In der Automobilindustrie werden für Zylinderköpfe der Werkstoff GK- AlSi10Mg und für Getriebegehäuse GD- AlSi9Cu3 eingesetzt. Innerhalb eines Forschungsprojektes mit verschiedenen Autoherstellern konnte gezeigt werden, dass die derzeitige Nassbearbeitung der Großserien auf Trocken- bzw. Minimal-Mengenschmierung umgestellt werden kann. Es zeigte sich, dass Bearbeitungsreihenfolgen und Wärmeentwicklung verschiedener Spanverfahren zu beachten sind. Gegenüber der Naßbearbeitung konnte bis um den Faktor 2 – bei gleicher Standzeit – die Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit gesteigert werden. Der HSC-Drehzahlbereich betrug dabei 2500-16000 min^{-1} . Tabelle 8 zeigt die Zerspanungsparameter bei der Trockenbearbeitung.

Tabelle 8: Zerspanparameter bei Trockenbearbeitung

Bearbeitungsverfahren	Schnitt \varnothing	v_c	f_z
Bohren	\varnothing 5,55 - 11,0 mm	174 - 768 m/min	0,05 - 0,15mm
Ausspindeln	\varnothing 46,4 - 67,4 mm	1240 - 1764 m/min	0,1 - 0,3 mm
Bohrgewindefräsen	M 16 x 1,5	364 - 641 m/min	0,18 / 0,14mm
Gewindeformen	M 6 - M10	75 - 100 m/min	1 - 1,5 mm
Feinbohren	\varnothing 10,0 - 68,0 mm	314 - 2136 m/min	0,05 - 0,5 mm
Fräsen	\varnothing 32,0 - 100 mm	1206 - 3563 m/min	0,1 - 0,2 mm

10. Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC), Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung (MMS)

Die Prozessdaten für die Bearbeitung eines Kupplungsgehäuses sind:

- Planfräsen mit PKD-Werkzeug
Ø 100 mm, 8000 min⁻¹ bei
6000 mm/min Vorschub
- Bohren mit Vollhartmetallbohrer
Ø 10 mm bei 6500 min⁻¹ und
2000 mm/min Vorschub
- Ausspindeln der Passbohrung mit
PKD-Werkzeug Ø 63 mm bei
9000 min⁻¹ und 750 mm/min,
 $R_t < 3 \mu\text{m}$, IT6-Qualität

Die eutektische Legierung GD-ALSi12 wurde bei einem anderen Getriebe-

gehäuse mit Zirkularfräsern bearbeitet, die bei einer Schnittgeschwindigkeit von 2000 m/min und einem Vorschub pro Zahn von 0,08 mm betrieben werden. Mit diesen Verfahren lassen sich verschiedene Passungsdurchmesser in der Toleranz H7 herstellen.

Diamantführungsleisten bei Bohren, die mit 2500 m/min Vorschub arbeiten, ermöglichen hohe Rundheit, Oberflächengüte und Genauigkeit. Je nach Zerspanungsaufgabe hat der Einsatz von Minimalmengenschmierung (MMS) über Öl-Luft-Nebel gegenüber der reinen Trockenbearbeitung aus Standzeit- und Oberflächengründen Vorteile.

Merkblatt B 2

Literaturverzeichnis:

N.N.:

Automatenlegierungen ohne Bleizusatz
ALUMINIUM Praxis 4 (1999) 3, S. 5-6

N.N.:

HSC-Werkzeuge für Aluminium
FORM + WERKZEUG 1999, Mai,
S. 19-10

Schmauder, H.:

Gehäuse HSC-bearbeitet
WB Werkstatt und Betrieb
(HSC-Sonderteil 1999), S. 25-29

Erdrich, R.; Scheffold, A.:

HSC reduziert Bearbeitungszeit
um ein Drittel
WB Werkstatt und Betrieb
(HSC-Sonderteil 1999), S. 36-38

Heisel, U.; Tröger, J.; Graf, J.:

Teile aus Leichtmetall und Kunststoff
sauber und aufwandsarm sägen
MASCHINENMARKT 105 (1999) 12,
S. 40-47

Nakagawa, H.:

Umweltfreundliche Trockenbearbeitung
bei Minimalmengen-Schmierung WB
Werkstatt und Betrieb 132 (1999), 5,
S. 72-80

Fox, T.:

HSC-Bearbeitung im Hubschrauberbau
VDI-Z 141 (1999) 6, S. 48-49

Feinauer, A.; Schüller, J.; Stoll, A., ff.:

Trockene Komplettbearbeitung
komplexer Aluminiumbauteile
VDI-Z Special Werkzeuge 1999, April,
S. 24-28

Dörr, J.; Sahm, A.:

Erfahrungen mit
Minimalmengen-Schmierung
WB Werkstatt und Betrieb 132 (1999) 4,
S. 38-49

Technische Merkblätter

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

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

- E 1 Aluminium in der Elektrotechnik und Elektronik

- K 5 Einfache Spannungsnachweise

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

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

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

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



GESAMTVERBAND DER
ALUMINIUMINDUSTRIE e.V.

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf

Postfach 10 54 63
40045 Düsseldorf

Tel.: 0211 - 47 96 - 279/285

Fax: 0211 - 47 96 - 410

information@aluinfo.de
www.aluinfo.de