

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 1527/1971*

**Zerspanen der Aluminium-Legierung AlCuMgPb**  
**Schnittvorgang im Feingefüge**  
**Variation der Schnittgeschwindigkeit**

Mit 6 Abbildungen

GÖTTINGEN 1971

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

## Zerspanen der Aluminium-Legierung AlCuMgPb

### Schnittvorgang im Feingefüge Variation der Schnittgeschwindigkeit<sup>1</sup>

G. WARNECKE, Hannover

#### Allgemeine Vorbemerkungen

##### Der Zerspanungsvorgang bei metallischen Werkstoffen

Bei allgemeinen und grundlegenden Betrachtungen des Zerspanungsvorganges wählt man zweckmäßigerweise den einfachsten Zerspanungsfall, den Orthogonalschnitt, der folgende Bedingungen erfüllen muß: keine Nebenschneide, Schneidenlänge größer als Spanungsbreite, Einstellwinkel  $\alpha = 90^\circ$ , Neigungswinkel  $\lambda = 0^\circ$ . Unter der Voraussetzung, daß die Spanungsdicke im Verhältnis zur Spanungsbreite sehr klein ist, ist es möglich, den Zerspanungsvorgang als ebenes zweiachsiges Problem zu behandeln. (Begriffe und Geometrie des Zerspanungsvorganges sind in DIN 6580 und DIN 6581 genormt.)

Ein in seiner Geometrie definierter Schneidkeil dringt in die Randschicht des Werkstückes ein und verdrängt den in Schnittrichtung vor ihm liegenden Werkstoff. Dabei entsteht der Span durch Scherung in einer bestimmten Zone, die mit der Schnittrichtung den Scherwinkel  $\phi$  einschließt. Zur Analyse des Spanbildungsvorganges wird der unter der Einwirkung des Schneidkeils stehende Werkstoffbereich entsprechend Abb. 1 in fünf Wirkzonen eingeteilt (WARNECKE [9]).

1. Die *primäre Scherzone* erstreckt sich von der Schneidkante zur freien Oberfläche und ist die eigentliche Spanentstehungszone.
2. Die *sekundäre Scherzone auf der Spanfläche* entsteht durch Fließen des Werkstoffes an der Spanunterseite. In dieser Fließschicht erfolgt der Geschwindigkeitsausgleich zwischen Span und Spanfläche.

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 16 u. 17.

3. In der *Zone der Schneidkante* wird der Span vom Werkstück getrennt. Im Vergleich zur theoretisch ideal scharfen Schneide wird bei einem Werkzeug der Übergang von der Span- zur Freifläche immer durch eine angenäherte Zylindermantelfläche mit endlichem Radius gebildet.

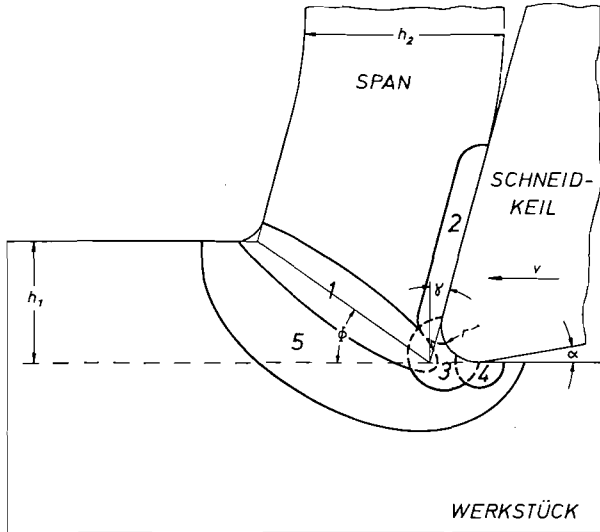


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung  
(Erläuterungen im Text)

4. Die *sekundäre Scherzone auf der Freifläche* entsteht durch die elastische Rückfederung des Werkstoffes nach dem Trennvorgang an der Schneidkante.

5. *Verformungsvorlaufzone*. Außerhalb der eigentlichen Scherverformungszonen wirken auf das Werkstück Spannungen, die zwar mit zunehmender Querschnittsfläche im Werkstück geringer werden, aber vor der Spanentstehungszone und in die Tiefe des Werkstückes senkrecht zur Schnitttrichtung plastische und elastische Verformungen verursachen.

Neben diesen Verformungsvorgängen wirken eine Reihe weiterer physikalischer und chemischer Vorgänge zusammen und beeinflussen sich gegenseitig. Gefügeveränderungen durch Verformungen und Umwandlungen im zerspannten Werkstoff, Reibungs-, Adhäsions-, Verschweißungs- und Diffusionsvorgänge sowie chemische Reaktionen spielen bei der Spanentstehung eine große Rolle. Außerdem muß man die große Zahl

veränderlicher Schnittbedingungen und Einflußgrößen berücksichtigen, um das Wesen der Zerspanung und die Erscheinungsformen der Spanbildung zu erfassen und zu beurteilen (DEGNER u. a. [1], VIEREGGE [8]).

### Zerspanbarkeit und Spanbildung

Für die Bewertung und Beurteilung von Zerspanungsfällen wurde der Begriff der Zerspanbarkeit geprägt. Da eine einheitliche und umfassende Definition dieses Begriffes und eine entsprechende Zerspanbarkeitskennziffer bis heute fehlen, sind mehrere Maßstäbe notwendig, den Zerspanungsvorgang nach verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten. So wurde von SCHALLBROCH und BETHMANN [7] die Zerspanbarkeit in die vier folgenden Hauptbeurteilungsfaktoren aufgeschlüsselt:

- Energie* (Kräfte, Temperaturen)
  - Standzeit* (Verschleiß, Temperaturen)
  - Arbeitsergebnis* (Oberflächengüte, Form- und Maßgenauigkeit)
  - Spanbildung* (Spanform, Spanentstehung)
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Spanform</i> (Makrogeometrie):</li> <li>Arbeitstechnik, z. B.</li> <li>Werkzeugspiel bei Automaten</li> <li>Spänetransport</li> <li>Massenfertigung</li> <li>Belastigung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Spanentstehung</i> (Mikrogeometrie):</li> <li>Spanarten</li> <li>Aufbauschneidenbildung</li> <li>Verformungen</li> <li>Verformungszonen</li> <li>Verformungsarten</li> <li>Verformungsgrad</li> <li>Verformungsstrukturen</li> </ul> |
|---|--|

Bei der Spanentstehung handelt es sich um Vorgänge, die von Ort und Zeit abhängen und die sich unter schnellen periodischen oder unregelmäßigen Veränderungen im Mikrobereich abspielen. Damit wird die Bedeutung der mikrogeometrischen Betrachtungsweise bei der Beurteilung der Spanentstehung offensichtlich (WIEBACH [10]).

### Spanarten und Aufbauschneidenbildung

Auf Grund einer unterschiedlichen Zerspanungsmechanik entstehen die verschiedenen Erscheinungsformen der Spanbildung. Die Spanarten werden heute meistens in Fließ-, Scher- und Reiß- oder Bröckelspäne bzw. in kontinuierliche und diskontinuierliche Späne unterteilt. Die Übergänge zwischen den einzelnen Spanarten sind fließend, und ihre Entstehung hängt im wesentlichen von den Werkstoffeigenschaften und den Zerspanungsbedingungen ab. Während Fließ- und Scherspäne bei der Zerspanung duktiler Werkstoffe durch plastische Scherverformung entstehen, sind Reiß- oder Bröckelspäne das Ergebnis bei der Zerspanung spröder Werkstoffe, z.B. Grauguß, indem unregelmäßige Spanstücke nahezu verformungslos aus dem Gefüge herausgerissen werden.

Bei der Fließspanbildung kann es unter bestimmten Bedingungen zu Werkstoffablagerungen an der Schneidkante und auf der Spanfläche kommen, die als Aufbauschneide die Schneidengeometrie verändern und den Zerspanungsvorgang beeinflussen. Zwischen Werkzeug und Span wirken Adhäsionskräfte, und in der sekundären Scherzone ist der Werkstoff größten Verformungen, die eine entsprechende Verfestigung bewirken, unterworfen, so daß sich der Schervorgang in Werkstoffschichten geringerer Verfestigung verlagert und die höher verfestigten Werkstoffteilchen auf der Spanfläche stehenbleiben. So wächst die Aufbauschneide keilförmig in Schnittrichtung und übernimmt die Funktion der Schneide, bis sie auf Grund der wirkenden Kräfte instabil wird, mit dem Span oder dem Werkstück abwandert und sich von neuem bildet. Erreichen die Zerspanungstemperaturen den Rekristallisationsbereich, ist eine Verfestigung nicht mehr möglich, und es bilden sich keine Aufbauschneiden (GAPPISCH und SCHILLING [3]).

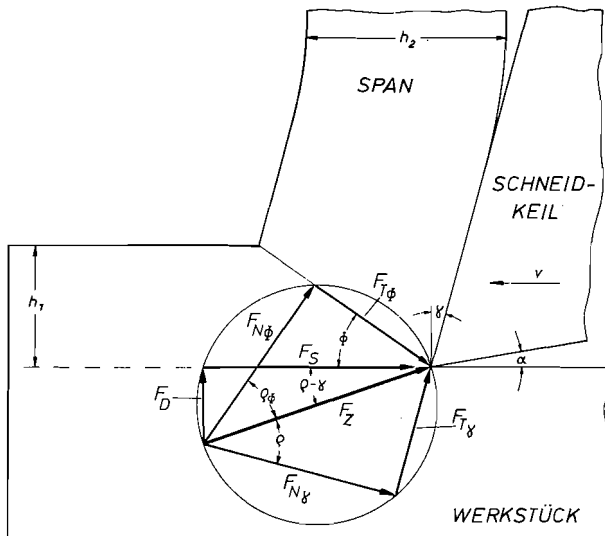


Abb. 2. Kräftegeometrie beim Orthogonalschnitt

$F_z$  Zerspankraft,  $F_s$  Schnittkraft,  $F_d$  Drangkraft,  $F_{N\gamma}$  Normalkraft auf der Spanfläche,  $F_{T\gamma}$  Tangentialkraft auf der Spanfläche,  $F_{N\phi}$  Normalkraft in der Scherebene,  $F_{T\phi}$  Tangentialkraft in der Scherebene,  $\phi$  Scherswinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $\rho$  Reibungswinkel auf der Spanfläche,  $\rho_\phi$  innerer Reibungswinkel in der Scherebene

### Zerspanungsmodelle und Scherwinkeltheorien

Zerspanungsmechanische Betrachtungen gehen häufig von bestimmten Modellvorstellungen des Zerspanungsvorganges aus, auf deren Grundlage theoretische Lösungen des Zerspanungsproblems entwickelt werden (DOHMEN [2], KHARE [5], ZOREV [12]). Die primäre Verformungsart aller Fließspanmodelle erfolgt durch Scherung, so daß der Scherwinkel  $\Phi$  (Abb. 1) eine zentrale Bedeutung erhält. Nach der Form des Schergebietes wird zwischen Scherebenen- und Scherzonenmodellen und -theorien unterschieden, wobei entweder eine Ebene bzw. leicht gekrümmte Fläche oder eine Zone endlicher Dicke angenommen wird. Die in großer Zahl entwickelten Scherwinkelgleichungen stellen im allgemeinen Winkelbeziehungen zwischen der Kräftegeometrie auf der Spanfläche und in der Scherzone mit dem Scherwinkel  $\Phi$ , dem Spanwinkel  $\gamma$  und dem Spanflächen-Reibwinkel  $\varrho$  dar (Abb. 2). Durch eine ganze Reihe von Bedingungen, Vereinfachungen und Einschränkungen bei allen Modellen und Theorien ist eine umfassende Lösung bisher nicht gefunden worden, so daß die Scherwinkelbeziehungen nur für verschiedene Einzelzerspanungsfälle Gültigkeit besitzen.

#### Verformungsgeometrie

Für die Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei der Spanantstehung ist eine genaue Kenntnis des Verformungsvorganges in der primären Scherzone notwendig.

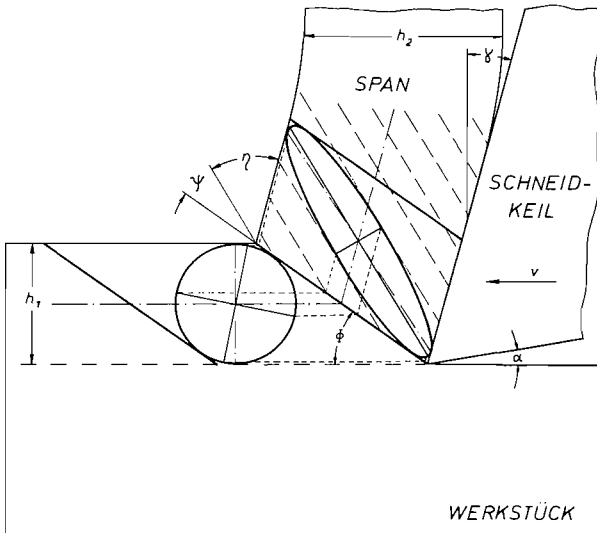


Abb. 3. Verformungsmodell

$h_1$  Spannungsdicke,  $h_2$  Spandicke,  $\alpha$  Freiwinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $\Phi$  Scherwinkel,  $\Psi$  Strukturwinkel,  $\eta$  Strukturwinkel

Eine relativ leicht bestimmbare Verformungsgröße stellt die Spanstauchung als Verhältnis der Span- zur Spannungsdicke  $\lambda = \frac{h_2}{h_1}$  dar. Sie hat allerdings nur als Vergleichswert bei Zerspanungsuntersuchungen eine gewisse Bedeutung.

Um die Verhältnisse bei der Verformung eines einzelnen Kristalls im Werkstoffgefüge zu klären, wurde das Modell in Abb. 3 entwickelt. Danach durchläuft ein Gefügeelement mit kreisförmigem Querschnitt eine Scherebene und verformt sich zu einer Ellipse im Span. Die große Achse zeigt die Strukturrichtung im Span an, die mit der Scherebene den Strukturwinkel  $\psi$  und mit der Spanfläche den Strukturwinkel  $\eta$  bildet.

Aus der Geometrie in Abb. 3 ergeben sich folgende Beziehungen

$$\cot \Phi = \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma}$$

$$\Phi + \psi + \eta - \gamma = 90^\circ$$

$$2 \cot 2\psi = \cot \Phi + \tan(\Phi - \gamma)$$

$$2 \cot 2\psi = \frac{1}{\cos \gamma} \left[ \left( \lambda + \frac{1}{\lambda} \right) - 2 \sin \gamma \right]$$

Diese Zusammenhänge und die daraus bestimmbaren Verformungsgrade hat KÖHLER [6] untersucht.

### Variation der Schnittgeschwindigkeit

Die Zerspanungsleistung, der Verschleiß und die Standzeit, die Oberflächengüte und die Spanbildung hängen in besonderem Maße von der Schnittgeschwindigkeit ab, so daß ihr mehr als anderen Schnittbedingungen eine große Bedeutung zukommt. Die Schnittgeschwindigkeit wirkt dabei auf alle Werkstoffzonen der Spanentstehung nicht nur als direkte Einflußgröße, sondern vor allem auch indirekt über viele andere Faktoren. Da sich der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit über bestimmte Faktoren verstärkt und über andere vermindert, kann ihre Wirkung auf einzelne Zerspanungsgrößen und -vorgänge sehr unterschiedlich sein. An Hand einer Blockdarstellung zeigt und kommentiert ZOREV [12] ein vereinfachtes Schema der grundlegenden Einflußfaktoren beim Orthogonalschnitt. Die Schnittgeschwindigkeit ist in diesem Schema mit direkten Verbindungen zur Spangeschwindigkeit, Temperatur in der Scherebene und zum Scherwinkel eingezeichnet und wirkt über diese Größen auf eine Reihe anderer Faktoren.

Das Zusammenwirken der Schnittgeschwindigkeit und der von ihr abhängigen Temperaturen in der Spanentstehungszone beeinflußt das Spannungs-Dehnungs-Verhalten und damit die Erscheinungsformen der

Spanbildung. Der Film zeigt den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit durch Veränderung der Spanarten, der Aufbauschneidenbildung, der Fließschichten in den sekundären Scherzonen, der Spankrümmung u. a.

#### Zur Entstehung des Films

Da sich die Vorgänge bei der Spanentstehung im Mikrobereich des Werkstoffgefüges, abhängig von Ort und Zeit, abspielen, ist eine räumliche und je nach Schnittgeschwindigkeit auch eine zeitliche Dehnung notwendig, um die Vorgänge für das menschliche Auge sichtbar zu machen, was praktisch nur durch eine Kombination von Mikroskopier- und Filmtechnik möglich ist.

Die Probleme mikrokinematografischer Zerspanungsstudien wurden von WIEBACH und HUMMEL mit einer ersten diesem Zweck angepaßten Versuchseinrichtung untersucht ([10], [11], [13]). Nach diesen Erfahrungen wurde ein neuer Versuchsstand entwickelt und gebaut, der die Voraussetzungen für eine mikrokinematografische Erfassung der Spanentstehung optimal erfüllt<sup>1</sup>. Abb. 4 zeigt die Anordnung der einzelnen Baugruppen der Versuchsmaschine, die für Schnittgeschwindigkeiten von 0,01 bis 60 m/min und für einen Vorschubbereich von 2 bis 125  $\mu\text{m}$  ausgelegt wurde.

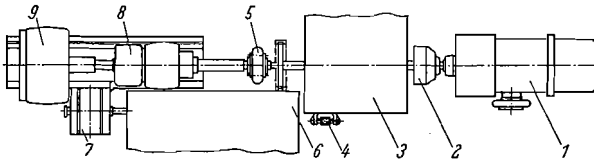


Abb. 4. Schema der Versuchseinrichtung

- 1 H-Trieb, 2 Kupplung, 3 Hauptgetriebe, 4 Vorlastbremse, 5 Kupplung, 6 Vorschubgetriebe, 7 Vorschubschlitten, 8 Spannzange, 9 Zerspanungskopf

Die Versuchsmethode beruht darauf, daß eine polierte und geätzte scheibenförmige Werkstückprobe (etwa 30 mm  $\varnothing$ ) mit einer planpolierten Quarzglasscheibe drehbar verspannt wird, während das Werkzeug, fest auf dem Vorschubschlitten an die Glasplatte gedrückt, die Probe im Orthogonalschnitt radial einsticht. Die Glasplatte verhindert ein seitliches Ausweichen des Werkstoffes und ermöglicht so die Beobachtung in einer Ebene. Das Prinzip dieser Methode wird in der Schnittdarstellung (Abb. 5) des Zerspanungskopfes als dem wesentlichsten Bau-

<sup>1</sup> Die Probleme beim Bau dieser Versuchseinrichtung wurden von der Zentralwerkstatt Göttingen GmbH vorbildlich gelöst.



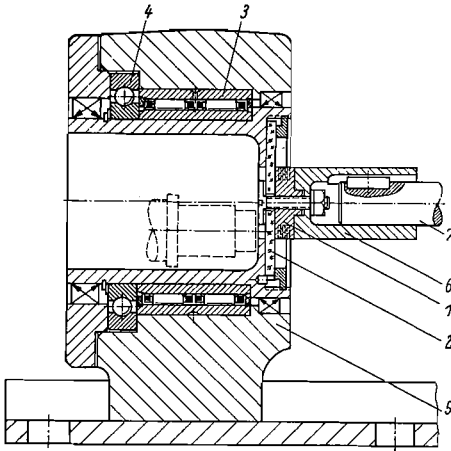


Abb. 5.  
Zerspanungskopf (Wirkstelle mit rotierender Glasplatte)

- 1 Prüfstück, 2 Glasplatte,
- 3 Radiallager, 4 Axiallager,
- 5 Lagerbock, 6 Prüfstück-
- träger, 7 Antriebswelle

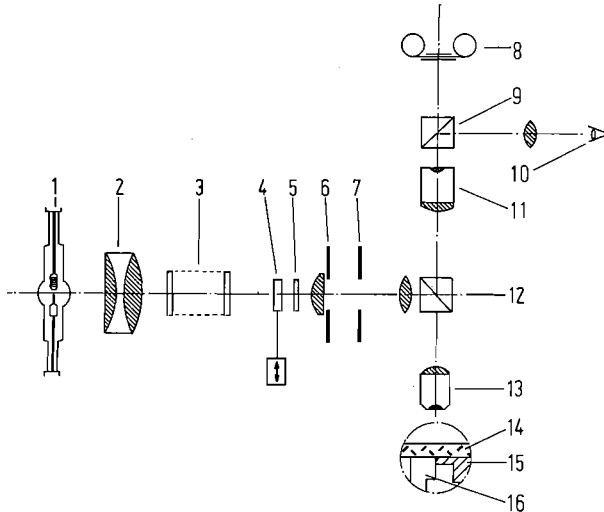


Abb. 6. Schematischer Aufbau der Mikroskopier- und Beleuchtungseinrichtung

- 1 Xenon-Höchstdrucklampe, 2 Kollektor, 3 Wärmeschutzfilter, 4 Magnetbetätigter Neutralglasfilter, 5 UV-Sperrfilter, 6 Aperturblende, 7 Leuchtfeldblende, 8 Filmkamera, 9 Strahlenteilungsprisma, 10 Direkte Beobachtung, 11 Okular, 12 Teildurchlässiger Spiegel, 13 Objektiv, 14 Quarzglasscheibe, 15 Werkstückprobe, 16 Werkzeug

teil dieser Versuchseinrichtung deutlich. Die Lageranordnung mit Nadel- und Rillenkugellager hält die Taumelfehler innerhalb der Fokustiefe des Mikroskopes.

Der optische Teil des Versuchsstandes besteht aus einem Mikroskop mit einem Strahlenteilungskörper, um den Vorgang gleichzeitig filmen und direkt beobachten zu können, sowie einer Beleuchtungseinrichtung mit einem Opak-Illuminator (Abb. 6). Bei der gewählten Objektfeldbreite von etwa  $440\ \mu\text{m}$  und einer Schnittgeschwindigkeit von  $0,01\ \text{m/min}$  wird eine 16-mm-Schmalfilmkamera (Arriflex) in Verbindung mit einer Hochleistungs-Mikroskopierleuchte eingesetzt. Höhere Schnittgeschwindigkeiten erfordern den Einsatz einer Hochfrequenz-Kamera (Fastax) und dementsprechend einer Xenon-Höchstdrucklampe mit  $2,5\ \text{kW}$  im Dauerbetrieb,  $5\ \text{kW}$  für  $4\ \text{s}$  und  $10\ \text{kW}$  für  $2\ \text{s}$  kurzzeitige Überlastung. Eine optimale Leuchtdichte wurde mit einem Spezialkollektor nach Berechnungen von HEYSE [4] erreicht. Wärmeschutzgläser, UV-Sperrfilter, Apertur- und Leuchtfeldblende sind notwendige Voraussetzungen für eine einwandfreie Beleuchtung im Auflicht-Hellfeld.

Das Gelingen der Filmaufnahmen hängt in besonderem Maße von der Versuchsvorbereitung und -durchführung ab. Die Werkstückprobe muß möglichst plan poliert sein, damit sich zwischen ihr und der Glasplatte kein Spalt bildet. Eine gleichmäßige und in der Intensität ausgewogene Ätzung entscheidet über die Güte des abgebildeten Werkstoffgefüges und der darin ablaufenden Vorgänge. Das Spezial-Werkzeug aus Schnellarbeitsstahl wird von Hand geläppt, damit bei der vorliegenden Vergrößerung das Werkzeug ideal scharf, ohne Schleifriefen und Kanten- ausbrüche erscheint. Der Gleitvorgang zwischen Glasplatte und Schneidkeil ist durch auftretende Glassprünge und Mikrorisse besonders kritisch, so daß mit einem Immersionsöl als Gleitmittel geschmiert wird<sup>1</sup>.

#### Technologische Angaben

Bei dem Werkstückstoff handelt es sich um die aushärtbare Aluminium-Knetlegierung AlCuMgPb (Automatenlegierung) mit folgenden Daten:

Werkstoff-Nr. 3.1645

chemische Zusammensetzung:	Cu	3,5—5,0%
	Pb + Sn + Bi + Cd + Sb	1,0—3,0%
	Mg	0,4—1,8%
	Mn	0,5—1,0%
	Al	Rcst

---

<sup>1</sup> Herrn E. FRIE (IWF) sei für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Versuchsdurchführung gedankt.

Härte: HV 10 = 124 kp/mm<sup>2</sup>

Zugfestigkeit (Umrechnung nach DIN 50150):  $\sigma_B = 42,8$  kp/mm<sup>2</sup>

Mikrohärte: HV (25 p) = 105 . . . 145 kp/mm<sup>2</sup>

### Filmbeschreibung<sup>1</sup>

*Spanungsdicke 30 bis 60  $\mu$ m*

*Spanwinkel 15°*

*Bildfeldbreite etwa 400  $\mu$ m*

Der Film zeigt den ebenen Zerspanungsvorgang in der Ansicht senkrecht zur Hauptschneide. Da der Schneidkeil, begrenzt durch Span- und Freiflächenkante, an der Quarzscheibe gleitet, ist es nicht ganz zu vermeiden, daß sich kleinste Werkstoffteilchen in einer hauchdünnen Schicht zwischen Schneidkeil und Quarz schieben, ohne aber den Zerspanungsvorgang selbst in irgendeiner Weise zu beeinträchtigen. Auch Schlieren und Luftbläschen im Schmierfilm des Immersionsöls wirken sich kaum nachteilig aus.

Die Aluminium-Knetlegierung AlCuMgPb erscheint im Schlibbild als grobkristallines Gefüge, so daß sich einzelne Kristalle häufig über das ganze Bild erstrecken, ohne daß Korngrenzen sichtbar sind. Da die Korngrößen im allgemeinen beträchtlich größer als auch die größte Spannungsdicke sind, kann man praktisch die Spanentstehung an einzelnen Kristallen über einen längeren Schnittweg beobachten. So regellos, wie die Kristalle im Werkstoffgefüge zueinander liegen, sind auch die Spanbildung und die Wirkung des Zerspanungsvorganges auf die Werkstück-Oberflächenschicht. Diese diskontinuierliche, vom einzelnen Korn abhängige Spanbildung zeigt deutlich, daß zwischen der Orientierung der Kristalle (MILLERSche Indizes) hinsichtlich ihrer Gleitrichtungen und der Schneiden- und Kräftegeometrie ganz bestimmte Zusammenhänge bestehen müssen, die aber auf Grund der nicht bekannten kristallografischen Daten nicht geklärt werden können<sup>2</sup>.

Durch plastische Verformungen ändern sich die Reflexionsverhältnisse, so daß man aus den Veränderungen der Helligkeit ganz allgemein auf Verformungen im Werkstoffgefüge schließen kann. Dabei liegt die Vermutung nahe, daß bei Druckspannungen die entsprechenden Werkstoffbereiche gegen die Quarzplatte gepreßt werden, das Licht besser reflektieren und durch helle Zonen sichtbar werden, während bei Zugspannungen die Oberfläche aufgeraut wird, so daß weniger oder kein Licht

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

<sup>2</sup> Prof. Dr.-Ing. H. AHLBORN, TU Clausthal, untersucht den Zerspanungsvorgang an Einkristallen, um den Einfluß der Orientierung zu ermitteln.

reflektiert wird. Bei dem vorliegenden zweiachsigen Spannungszustand, der durch zwei Normal- und eine Schubspannungsgröße gekennzeichnet ist, sind derartige Rückschlüsse rein qualitativ und nur als grobe Näherung zu betrachten. Neben dem Schervorgang in der Spanwurzel werden auch die Verformungen im Bereich 5 nach Abb. 1 sichtbar. Hierbei fällt besonders auf, daß diese Verformungen vom eigentlichen Schergebiet ausgehen und sich im einzelnen Kristall z. T. sprungartig fortpflanzen. Beim „Einschießen“ dieser Verformungen entsteht der Eindruck, als würden manchmal im Kristall Gleitbänder sichtbar. Die bleibende Verformung unter der Schnittfläche im Werkstück kann als sichtbare Verformungstiefe erfaßt werden.

*Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min*

*48 B/s*

Diese außergewöhnlich eindrucksvolle Aufnahme zeigt die ganze Vielfalt der Spanbildung dieses grobkristallinen Werkstoffes. Nach dem anfänglich ungleichmäßigen Span folgt in einem großen Korn eine Scherspanbildung, die durch das Abscheren in Schichten, ähnlich einem Spaltvorgang, gekennzeichnet ist. Durch die Scherverformung und das Abgleiten der Spanlamellen erscheinen Gleitlinien unter einem Winkel von  $32^\circ$  zur Schnitttrichtung. Die Spanstauchung ist mit etwa 2 relativ groß. Eine Verformungstiefe ist nicht sichtbar. Mit dem Wechsel der Kristalle geht der Span in einen Fließspan über. Die scharf markierte Scherebene unter einem Scherwinkel von  $34^\circ$  deutet auf günstige kristallografische Bedingungen hin, die anscheinend durch die sichtbaren Gleitlinien unter  $38^\circ$  gegeben sind. Außer einem kleinen Verformungsvorlauf unmittelbar an der Oberfläche erscheinen keine weiteren Verformungen. An der dann folgenden Korngrenze setzt ein starker Verformungsvorlauf mit einer hell erscheinenden Schicht an der Oberfläche ein, und der dunkle Fließspan wird durch die folgenden Scherspanlamellen mit einer Hell-Dunkel-Markierung unterbrochen. Danach folgt in verschiedenen kleineren Kristallen eine wechselnde Scherspanbildung bei großen Verformungsvorläufen und geringen Verformungstiefen.

Ohne Verformungsvorlauf und -tiefe entsteht dann in einer Scherebene unter etwa  $50^\circ$  und dementsprechend bei der außerordentlich geringen Spanstauchung von 1,1 ein dunkel erscheinender Fließspan. An der Korngrenze nimmt die Stauchung wegen der vermutlich ungünstigen Orientierung des folgenden Kristalls zu, so daß sich durch die Wirkung der veränderten Kräftegeometrie das Ende dieses Fließspanes aufhellt. Nach einer kurzen diskontinuierlichen Spanbildung entsteht wieder ein Fließspan, der aber heller als die vorangegangenen erscheint. Die teilweise scharf markierte Scherebene bildet mit der Schnitttrichtung einen Scherwinkel von  $35^\circ$ .

### *Schnittgeschwindigkeit 0,05 m/min*

*360 B/s*

Die Spanbildung ist stark diskontinuierlich, die Verformungstiefe wechselt ständig und das Schergebiet erscheint als nicht näher definierbar. Teilweise werden Gleitlinien sichtbar. Dabei fällt ein Spanentstehungsvorgang durch einen auf  $18^\circ$  abnehmenden Scherwinkel und durch die damit in Zusammenhang stehende starke Stauchung auf. Der Oberflächenübergang vom Werkstück zum Span wird durch eine gekrümmte Linie angedeutet. Trotz des ausgeprägten Verformungsvorlaufes ist keine Verformungstiefe sichtbar. An der dann folgenden Korngrenze entsteht nach einem deutlichen Abschervorgang ein Span mit einer auf den halben Wert reduzierten Spandicke. Die ständig wechselnde Spanbildung offenbart sich in den Veränderungen der Spandicke und der Verformungen, die durch unterschiedliche Lichtreflexionen sichtbar werden. Andeutungsweise bilden sich bei manchen Spanbildungsvorgängen sekundäre Scherzonen.

### *Schnittgeschwindigkeit 0,25 m/min*

*1600 B/s*

Die Szene beginnt mit einer leicht ungleichmäßigen Fließspanbildung, wobei teilweise sekundäre Scherzonen an der Span- und auch Freifläche sichtbar werden. Die Spanstauchung ist mit 1,2 sehr gering. Bei der sich anschließenden, gleichmäßigen Fließspanbildung erscheint eine auf der Spanfläche langgestreckte Aufbauschneide, die allerdings bald mit diesem Fließspan abwandert. Die Fließspanbildung wechselt, wobei die in diesem Kristall sichtbare oberflächenverformte Schicht nach dem Spanbildungsvorgang wieder unter der Schnittkante erscheint. Auch hier deuten sich Fließschichten an. Es folgt ein Spantyp, der zwischen Scher- und Fließspan liegt. Im Wechsel mit reinen Fließspänen bei unterschiedlichen Verformungen und kleinsten Schneidensätzen, die nicht als Aufbauschneiden bezeichnet werden können, verläuft die Spanbildung bis zum Ende der Szene.

### *Schnittgeschwindigkeit 1,25 m/min*

*6600 B/s*

Die entstehenden Fließspäne werden an den Korngrenzen ohne vollständige Spantrennung abgeschert. Die Fließschichten sind gegenüber den vorangegangenen Szenen deutlicher. Der Verformungsvorlauf scheint von der Schneidenspitze auszugehen und ist nicht über die gesamte Spannungsdicke sichtbar. Nach einem Wechsel der Spanbildung erscheinen keine Verformungen mehr, und der Übergang vom Werkstück zum Span ist durch eine scharf markierte Hell-Dunkel-Grenze gekennzeichnet.

Bei den im Kristall sichtbaren Fließlinien unter  $37^\circ$  zur Schnitttrichtung stellt sich der Scherwinkel auf  $33^\circ$  ein. Es folgen verschiedene Fließspäne, bis eine Spanbildung mit dunklem Verformungsvorlauf und hellem Span bei einem Scherwinkel von etwa  $40^\circ$  erscheint. Im hellen Span deutet sich eine Struktur in Scherebenenrichtung an. Ebenfalls bemerkenswert ist ein Fließspanabschnitt mit der Spanstauchung 1 und dem dazugehörigen Scherwinkel von  $52^\circ$ . Veränderungen bei der Fließschichtbildung an der Spanunterseite scheinen sich auf die Spankrümmung auszuwirken.

#### *Schnittgeschwindigkeit 2,5 m/min*

6600 B/s

Bei 2,5 m/min reicht die maximale Bildfrequenz von 6600 B/s gerade noch aus, um keine Bewegungsunschärfen deutlich werden zu lassen, jedoch läuft der Vorgang schon so schnell ab, daß Einzelheiten nicht mehr unbedingt wahrgenommen werden. Mit der Entstehung verschiedener Spanarten zwischen Fließ- und Scherspan verändern sich, ähnlich wie in den vorangegangenen Szenen, die Spandicke, der Scherwinkel, die Verformungsvorgänge und die Fließschicht, die offensichtlich die Spankrümmung beeinflusst.

#### *Schnittgeschwindigkeit 5,0 m/min*

Bei dieser Schnittgeschwindigkeit machen sich Bewegungsunschärfen deutlich bemerkbar, dennoch ist das Gefüge mit den Korngrenzen noch zu erkennen. Die Spanbildung wechselt zwischen Fließ- und Scherspänen mit den bereits beschriebenen Merkmalen.

#### *Schnittgeschwindigkeit 10 m/min*

Hier sind die Bewegungsunschärfen so groß, daß keine Einzelheiten mehr beobachtet werden können. Durch die Steigerung der Schnittgeschwindigkeit bei gleichbleibender Bildfrequenz entsteht eine Zeiträfferwirkung, die den Eindruck der diskontinuierlichen Spanbildung noch verstärkt. Die Vorgänge laufen so schnell ab, daß die verschiedenen Spanarten, die ständig wechselnden Verformungen und Spandicken, nur noch schemenhaft erscheinen.

### **Literatur und Filmveröffentlichung**

- [1] DEGNER, W., H. LUTZE und E. SMEJKAL: Spanende Formung. Theorie — Berechnung — Richtwerte. VEB Verlag Technik, 3. Aufl., Berlin 1969.
- [2] DOHMEN, H. G.: Zusammenfassung und Vergleich der zerspanungsmechanischen Theorien. Ind.-Anz. 87 (1965), 839—844 u. 1023—1032.

- [3] GAPPISCH, M., und W. SCHILLING: Die Aufbauschneidenbildung bei der spanabhebenden Bearbeitung. Ind.-Anz. 87, 69 (1965), 1625—1634. Untersuchungen über die Aufbauschneidenbildung und deren Ursachen. Ind.-Anz. 87, 87 (1965), 2065—2074.
- [4] HEYSE, E.: Über die Anwendung von Xenonlicht in der Mikrokinematographie. Res. Film 4 (1963), 476—481.
- [5] KHARE, M. K.: Untersuchung des Reibungsverhaltens zwischen Span und Spanfläche sowie Prüfung der Scherwinkelbeziehungen durch Zerspankraftmessung beim Schnittunterbrechungsvorgang. Diss. TU Berlin 1969.
- [6] KÖHLER, G.: Modelltheoretische Betrachtungen und Untersuchungen mit Hilfe der Spanwurzel-Mikrografie als Beitrag zur Beschreibung des Verformungsvorganges bei der spanenden Bearbeitung metallischer Werkstoffe. Diss. TU Berlin 1968.
- [7] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [8] VIEREGGE, G.: Zerspanung der Eisenwerkstoffe. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1959.
- [9] WARNECKE, G.: Untersuchungen zur Mikrogeometrie der Spanbildung metallischer Werkstoffe. Unveröffentlichte Forschungsarbeit am Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen TU Hannover.
- [10] WIEBACH, H. G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanungsvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. Werkstattstechnik 55, 3 (1965), 128—133.
- [11] WIEBACH, H. G., und G. HUMMEL: Mikrokinematografische Studien über das Zerspanen von Metallen. Res. Film 5 (1966), 501—509.
- [12] ZOREV, N. N.: Metal Cutting Mechanics. Pergamon Press, Oxford 1966.
- 
- [13] WIEBACH, H. G.: Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spandicken. Film B 885 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.

### Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1971 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 77 m, 7 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 1968. Veröffentlichung aus dem Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen der Technischen Universität Hannover, Dr.-Ing. H.-G. WIEBACH, Dipl.-Ing. G. WARNECKE, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dipl.-Ing. K. W. BOSAK; Aufnahme: Ing. G. HUMMEL.

## **Inhalt des Films**

Der Film zeigt den Spanantstehungsvorgang beim Orthogonalschnitt an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus der Aluminium-Knetlegierung AlCuMgPb. Auf Grund des grobkristallinen Gefüges mit Korngrößen weit über der größten Spannungsdicke bestimmt der Schnitt in einzelnen unterschiedlich orientierten Kristallen die in ihren Erscheinungsformen wechselnde Spanbildung. Mit den verschiedenen Spanarten zwischen Fließ- und Scherspan verändern sich der Scherbereich, der Spanantstehungsmechanismus und die sichtbare Werkstückverformung. Der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit (0,01 bis 10 m/min), der sich gelegentlich durch sekundäre Schervorgänge auf der Spanfläche andeutet, wird aber im allgemeinen durch die orientierungsabhängige, unregelmäßige Spanbildung in diesem groben, vielkristallinen Werkstoffgefüge überdeckt.

## **Summary of the Film**

The film shows how chippings are produced from a polished and etched testing workpiece made of the aluminium forging alloy AlCuMgPb during orthogonal cutting. Because of the coarse-crystalline structure with grains considerably larger than the maximum chip thickness, cutting causes the formation of chippings of varying appearances in individual crystals of differing orientation. The shearing area, chip-producing mechanism and visible deformation of the workpiece change with the different types of chip, from flowing chip to shearing chip. The influence of the cutting speed (0,01 to 10 m/min.), which is sometimes indicated by secondary shearing on the true rake, is usually concealed by the fact that the irregular chip-formation is a direct result of the structure orientation in this coarse, polycrystalline material.

## **Résumé du Film**

Le film montre le processus de la formation de copeaux dans la coupe orthogonale d'un échantillon d'une pièce en cours d'usinage, polie et décappée, provenant de l'alliage de pétrissage d'aluminium AlCuMgPb. En raison de la structure grossièrement cristalline, dont les grains ont une grosseur dépassant largement la plus grande profondeur de coupe, la coupe des cristaux, dont l'orientation diffère de l'un à l'autre, produit ces copeaux aux aspects divers. Selon les différents types de copeaux, qui vont du copeau écoulant au copeau de cisaillement, on enregistre des variations dans le secteur de cisaillement, le mécanisme de la formation des copeaux et la déformation visible de la pièce à travailler. A l'influence de la vitesse de coupe (de 0,01 à 10 m/min), qui se manifeste de temps à autre par des processus de cisaillement secondaires à la surface de coupe, se superpose ordinairement celle de la formation irrégulière de copeaux, qui dépend de l'orientation des cristaux de ce matériau à gros cristaux multiples.