

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 1815/1975

**Zerspanen der Aluminium-Legierung AlCuMgPb
Schnittvorgang im Feingefüge
Variation des Spanwinkels**

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 1815

Zerspanen der Aluminium-Legierung AlCuMgPb

Schnittvorgang im Feingefüge

Variation des Spanwinkels

H.-G. WIEBACH und G. WARNECKE, Hannover

Begleitveröffentlichung von G. WARNECKE, Hannover

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Bewertungskriterien des Zerspanvorgangs

Der Zerspanvorgang bzw. die Zerspanbarkeit werden zweckmäßigerweise nach folgenden Kriterien bewertet und beurteilt: Energie, Standzeit, Arbeitsergebnis, Spanbildung. Die Spanbildung umfaßt dabei sowohl die makrogeometrische Spanformung als auch den grundlegenden Vorgang mikrogeometrischer Spanentstehung mit der Verformung und Trennung des Werkstoffgefüges. Damit in unmittelbarem Zusammenhang stehen die verschiedenen Erscheinungsformen des Zerspanvorgangs, die Spanarten bzw. Spanentstehungsformen sowie die Aufbauschneidbildung, die den Zerspanvorgang und die Zerspanbarkeit in vielfältiger Weise beeinflussen.

Spanbildung bei metallischen Werkstoffen

Beim Zerspanvorgang dringt ein in seiner Geometrie definierter Schneidkeil infolge der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück in die Randschicht des Werkstücks ein und verdrängt den in Schnittrichtung vor ihm liegenden Werkstoff. Dabei wird der Werkstoff gestaucht und geht durch Scherung in den Span über. Bei diesem Vorgang sind das Werkzeug und das Werkstück in bestimmten Zonen höchsten Belastungen ausgesetzt.

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 17.

Abb. 1 zeigt eine Einteilung dieser an der Spanentstehung beteiligten Werkstoffbereiche in fünf Wirkzonen. Zone 1 kennzeichnet die unmittelbare Spanentstehungszone. Sie wird als primäre Scherzone bezeichnet und erstreckt sich von der Schneidkante zum Übergang vom Werkstück zum Span an der freien Oberfläche. Zone 5 ist die sog. Verformungsvorlaufzone, in der der Spanentstehungsvorgang plastische und elastische Verformungen des Werkstoffgefüges hervorruft. Diese Verformungen verursachen einen Restspannungszustand im Werkstück. Die sekundären Scherzonen, 2 auf der Spanfläche, 3 im Bereich der Schneidkante und 4

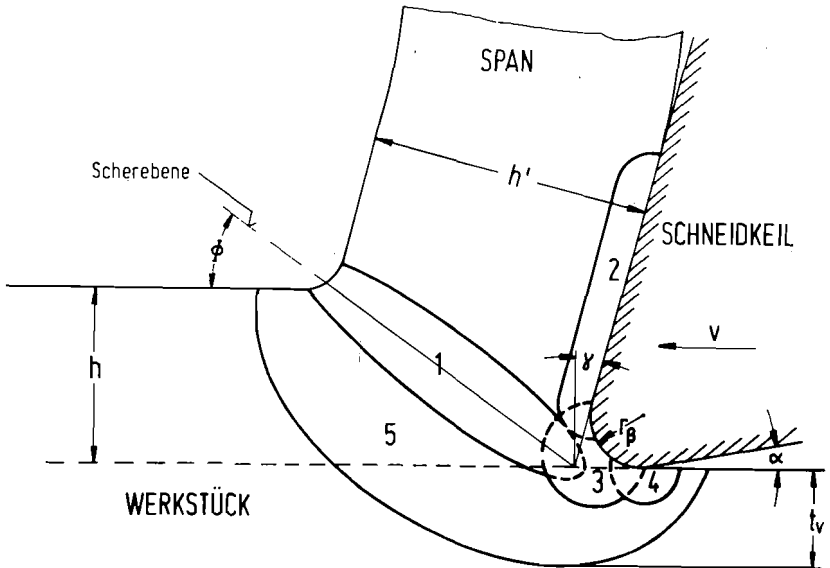


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung

an der Freifläche, entstehen durch Reibung an den Werkzeugkontaktflächen. Die dort wirkenden Reibkräfte versuchen, die Werkstoffschichten in der Spanunterseite und an der Schnittfläche des Werkstücks zurückzuhalten, so daß dort infolge der hohen Spannungen der Werkstoff zu fließen beginnt. In der Schneidkantenzone 3 erfolgt die eigentliche Werkstofftrennung zwischen Werkstück und Span. Diese Zone stellt auf Grund der Geometrie des Schneidkantenbereichs, insbesondere bei abgerundeter Schneide, eine Stauzone dar, die den Keim für Aufbauschneiden bildet.

In diesen fünf Wirkzonen spielen sich verschiedene physikalische und chemische Vorgänge ab. Infolge des Verformungs- und Trennvorgangs

bei der Spanentstehung sowie der sich daraus ergebenden thermischen Einflüsse muß mit Gefügeveränderungen und Verfestigungen im zerspannten Werkstoff, mit Reibungsvorgängen, Verschweißungen, Adhäsions- und Diffusionsvorgängen sowie chemischen Reaktionen in den Grenzschichten und Berührungspunkten zwischen Werkstück- und Schneidstoff gerechnet werden.

Spanarten

Bei der Spanentstehung wird der Werkstoff auf der Spanfläche gestaucht und gleitet unter Scherung in der Seherzone über die Spanfläche ab. Ausgehend von der Wechselwirkung des Gleitgeschehens in der Seherzone und auf der Spanfläche, abhängig vom Werkstückstoff, von der Art



Abb. 2. Spanarten. a: Fließspan;
b: Scherspan; c: Reißspan

der Beanspruchung durch den Schneidkeil und von einer Vielzahl von Einflußgrößen erzeugt der Zerspanvorgang eine Vielfalt von Spanentstehungsformen bzw. Spanarten, die üblicherweise in die drei Gruppen der Fließspäne, der Scherspäne und der Reißspäne eingeteilt werden. In Abb. 2 ist je ein Beispiel für diese drei Spanarten dargestellt. Fließspäne entstehen durch überwiegend plastische Scherverformung ohne Ribbildung in der primären Scherzone; Scherspäne entstehen durch plastische Verformung bis zum Werkstoffversagen mit anschließender Ribbildung, so daß sich Späne aus mehr oder weniger zusammenhängenden einzelnen Spánelementen bilden; Reißspäne entstehen ohne nennenswerte plastische Verformung durch Herausreißen regelloser Spanstücke. Fließ- und Scherspäne entstehen bei der Zerspanung duktiler, d.h. plastisch verformbarer Werkstoffe, z.B. Stahl, während Reißspäne bei spröden Werkstoffen, z.B. Gußeisen, entstehen. Eine klare Abgrenzung zwischen diesen drei Spanarten ist nicht möglich, da die Übergänge fließend sind.

Aufbauschneidenbildung

Einer der bemerkenswertesten Vorgänge bei der Spanentstehung ist die Aufbauschneidenbildung. Dabei setzt sich Werkstückstoff im Schneidkantenbereich fest und bildet auf dem Werkzeugschneidkeil einen zusätzlichen kleinen Schneidkeil, der die Funktion der Werkzeugschneide übernimmt. Durch die Aufbauschneide wird die Schneidkeilgeometrie grundlegend verändert, so daß bei ständig wechselnden Bildungsformen der gesamte Zerspanvorgang beeinflusst wird (Abb. 3).

Der Entstehungsmechanismus der Aufbauschneide beruht auf der Verklebung und Verschweißung von Schneidstoff und Werkstückstoff sowie auf der Neigung zur Kaltverfestigung des zerspannten Werkstoffes als der entscheidenden Grundvoraussetzung. Das Wachsen der Aufbauschneide bis zu einer bestimmten Größe hängt dabei vor allem von der Wechselwirkung zwischen dem Festigkeitsverhalten des Werkstückstoffes und der Belastung der Aufbauschneide durch den Zerspanvorgang ab.

Das Festigkeitsverhalten wird im wesentlichen vom Einfluß der Formänderung, der Temperatur und der Formänderungsgeschwindigkeit bestimmt. Während bei zunehmender Formänderung und Formänderungsgeschwindigkeit die Festigkeit ebenfalls zunimmt, weist sie bei steigender Temperatur unter Ausnahme des Blauwärmebereichs eine im allgemeinen fallende Tendenz auf. Der Einfluß dieser drei Parameter wird über die Veränderung der einzelnen Zerspanbedingungen angesprochen, wobei die Schnittgeschwindigkeit die beherrschende Einflußgröße darstellt. Sie wirkt auf die Formänderungsgeschwindigkeit und die Temperatur sowie über die Temperatur auf die Formänderung. Damit löst die Schnittgeschwindigkeit einen derart vielfältig komplizierten Einflußmechanismus aus, der quantitativ kaum erfaßbar ist, insbesondere auch deshalb,

weil die Temperatur innerhalb der Spanentstehungszone unterschiedlich ist und sich mit den Veränderungen der Aufbauschneide ebenfalls ändert.

Einfluß der Schnittbedingungen

Beim Orthogonalschnitt sind die Spannungsdicke, die Schnittgeschwindigkeit sowie die Schneidkeilgeometrie mit dem Spanwinkel und dem Schneidkantenradius die wichtigsten veränderlichen Zerspanparameter.

Die Spannungsdicke bestimmt nicht nur die Größenordnung der Spanentstehung, sondern sie beeinflusst die Spannungen in der Spanflächenkontaktzone und das Spannungs-Formänderungsverhalten des Werkstückstoffs. Dadurch verändern sich mit der Spannungsdicke die Reibungsverhältnisse an der Spanfläche und die Scherverformung in der primären Scherzone. Das Zusammenwirken beider Einflußvorgänge verändert die Charakteristik der Spanbildung, so daß einerseits die Spanstauchung, das Verhältnis von Span- zu Spannungsdicke, nicht konstant ist und andererseits mit zunehmender Spannungsdicke der Fließspan in einen Scherspan übergehen kann.

Wie anhand der Aufbauschneidenbildung erläutert, stellt die Schnittgeschwindigkeit eine außerordentlich komplexe Einflußgröße dar, indem sie über die Temperatur das Formänderungsverhalten des zerspannten Werkstoffs entscheidend verändert. Damit wirkt die Schnittgeschwindigkeit auf alle Vorgänge bei der Spanentstehung und beeinflusst alle Bewertungsgrößen des Zerspanvorgangs.

Spanwinkel und Schneidkantenradius bestimmen die Schneidkeilgeometrie, die insbesondere den Grad der Werkstoffverformung und die Werkzeugbeanspruchung beeinflusst. Während an der scharfen Schneidkante der Werkstoff bei der Trennung des Spans vom Werkstück abgesichert wird, bewirkt die abgerundete Schneide eine intensive sekundäre Scherung, die im Punkt der Trennung in Schnitt- und Spanablaufrichtung auseinanderfließt. Die extreme Werkstoffverformung im Schneidkantenbereich führt zu entsprechender Verfestigung und begünstigt damit die Aufschneidenbildung.

Zur Entstehung des Films

Untersuchung der Spanbildung

Für die Deutung ursächlicher Zusammenhänge beim Zerspanvorgang ist die Untersuchung der verschiedenen Erscheinungsformen der Spanbildung von großer Bedeutung.

Ordnet man den vier Bewertungskriterien des Zerspanvorgangs charakteristische Untersuchungsmethoden zu — für die Energie z.B. die Schnittkraftmessung, für die Standzeit die Verschleißmessung und für das Arbeitsergebnis die Oberflächenmessung —, dann sind es für die Spanbildung visuelle Untersuchungsmetho-

den, die ein anschauliches Bild vom Zerspanvorgang ermöglichen. Die verschiedenen Verfahren zur bildlichen Erfassung der Spanbildung lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

- a) die statischen Verfahren durch Festhalten eines Moments der Spanentstehung mit Hilfe fotografischer Methoden und
- b) die kinematischen Verfahren durch kontinuierliches Aufzeichnen mit Hilfe kinematografischer Methoden.

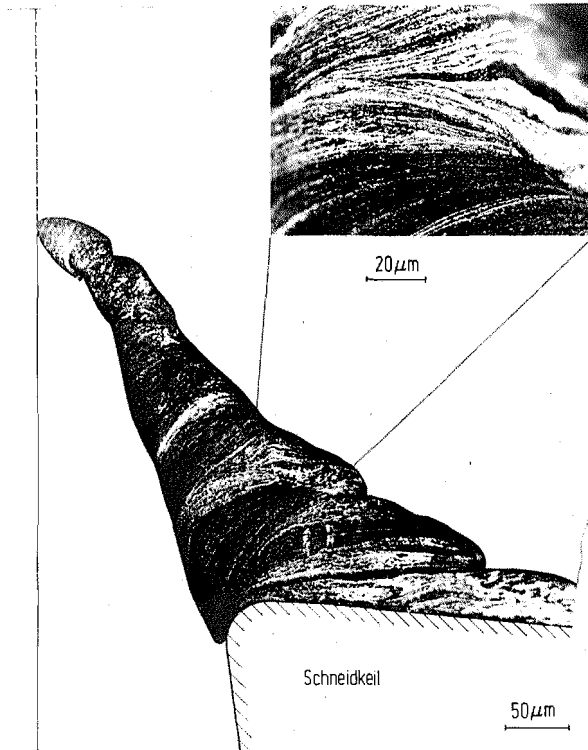


Abb. 3. Form und Struktur einer Aufbauschneide

Bei den statischen Verfahren spielen Vorrichtungen zur schnellen Schnittunterbrechung eine große Rolle. Bei den kinematischen Verfahren kommt es darauf an, den Zerspanvorgang so zu gestalten, daß die zu beobachtenden Bereiche für eine Filmkamera zugänglich sind. Die Untersuchung der Mikrogeometrie der Spanentstehung zielt insbesondere auf die Darstellung der Vorgänge im Innern des Werkstoff-

gefüges und in den Werkzeugkontaktzonen. Hierfür sind bei mikrokinematografischen Zerspanuntersuchungen, d.h. Untersuchungen im Mikrobereich der Werkstoffe mit Hilfe von Filmaufnahmen, ganz besondere versuchstechnische Maßnahmen notwendig, die durch folgende einschränkende Bedingungen bestimmt werden:

1. die zweidimensionale Betrachtungsweise der Spanentstehung,
2. die Beobachtung von Oberflächenbereichen,
3. die begrenzte Schärfentiefe bei mikroskopischer Beobachtung und
4. die Möglichkeiten der Aufnahmetechnik unter besonderer Berücksichtigung
 - a. der Aufnahmefrequenz und
 - b. der Beleuchtung.

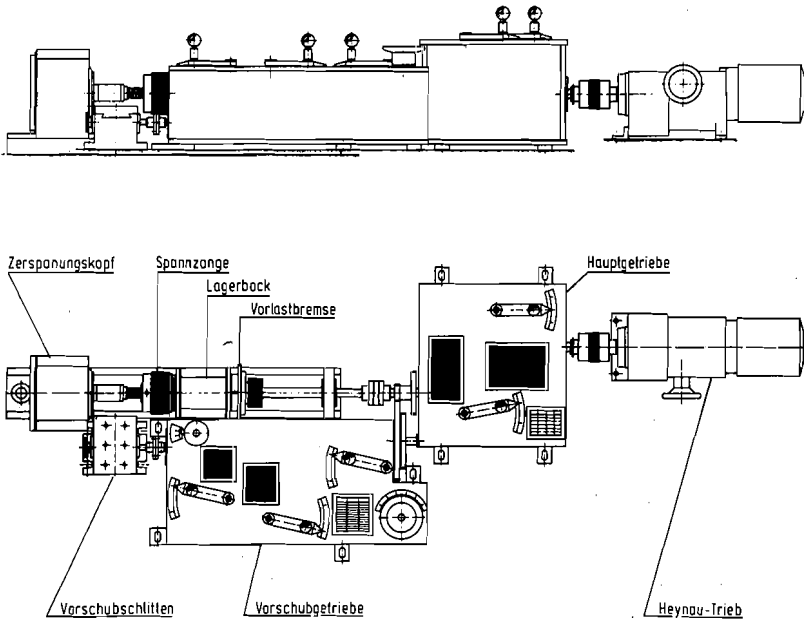


Abb. 4. Spezial-Drehmaschine; Anordnung der Baugruppen

In Verbindung mit der Forderung, den Zerspanvorgang so darzustellen, daß die der Beobachtung zugänglichen Bereiche mit den Vorgängen im Innern der Spanwurzel vergleichbar sind, wurde eine Versuchsmethode entwickelt, bei der der Zerspanvorgang entlang einer Glasplatte abläuft und durch diese mit Hilfe eines Mikroskops beobachtet und gefilmt wird.

Dabei soll die Glasplatte einerseits die Spanwurzelbreite verhindern und andererseits die für die mikroskopische Beobachtung notwendige definierte Ebene herstellen. Diese Methode wurde erstmals von ISAJEV und GORBUNOVA [1] angewendet und von WIEBACH und HUMMEL [3] weiterentwickelt.

Versuchstechnik¹

Auf der Grundlage dieser Versuchsmethode wurde die in Abb. 4 dargestellte Spezial-Drehmaschine für mikrokineamatografische Zerspanuntersuchungen entwickelt und gebaut. Der Antrieb erfolgt von einem stufenlos verstellbaren HEYNAU-Trieb über das sechsstufige Haupt-

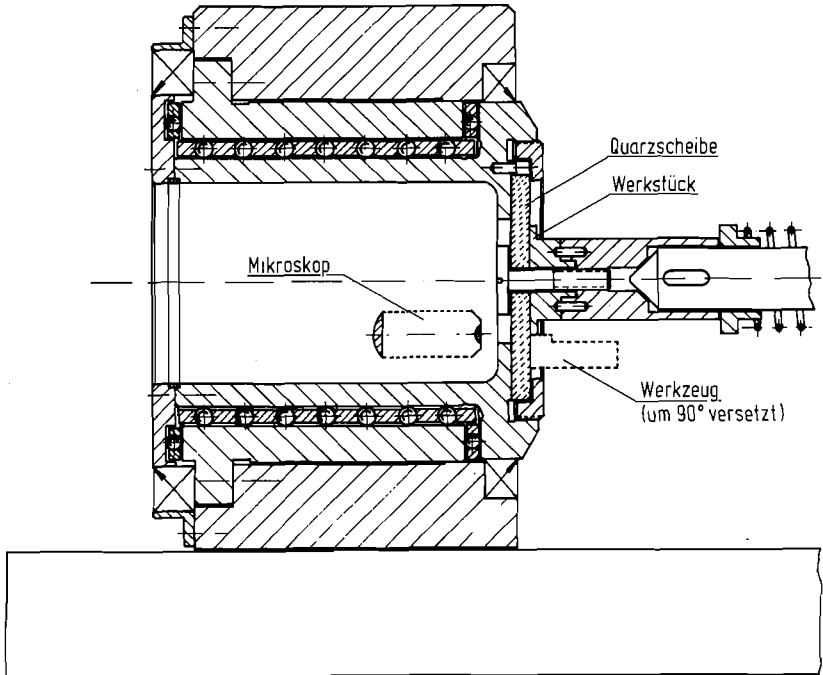


Abb. 5. Zerspankopf mit der Wirkstelle

¹ Bei der Lösung der schwierigen versuchstechnischen Probleme, insbesondere bei der Entwicklung der Aufnahme- und Beleuchtungstechnik für die mikrokineamatografischen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, sowie bei der Versuchsdurchführung haben sich Herr Ing. G. HUMMEL und seine Mitarbeiter, Herr E. FRIXE und Herr J. THIENEL, vom Institut für den Wissenschaftlichen Film in Göttingen (IWF) große Verdienste erworben.

getriebe und die lange Hauptspindel auf den Zerspankopf. Die Vorschubbewegung wird hinter dem Hauptgetriebe abgezweigt und über das Vorschubgetriebe auf den Vorschubschlitten geleitet. Diese Versuchsmaschine ermöglicht Schnittgeschwindigkeiten von 0,06 bis 100 m/min und Vorschübe von 2 bis 125 $\mu\text{m}/\text{U}$.

Der Zerspanvorgang ist dabei so gestaltet, daß ein Werkzeug eine scheibenförmige, polierte und geätzte Werkstückprobe, die mit einer Quarzglasplatte verspannt ist und umläuft, radial einsticht. Die Einheit Werkstück/Quarzglasplatte ist in dem in Abb. 5 dargestellten Zerspankopf so gelagert, daß ein Ringfenster entsteht, durch das die Beobachtung der Spanentstehung mit einem Mikroskop möglich ist (Abb. 6). Taumel- und Rundlauffehler sind kleiner als die Schärfentiefe mit etwa 10 μm bei einem Bildfeld von $0,4 \times 0,3 \text{ mm}^2$. Das Werkzeug sitzt auf dem Vorschubschlitten und gleitet an der Quarzglasplatte.

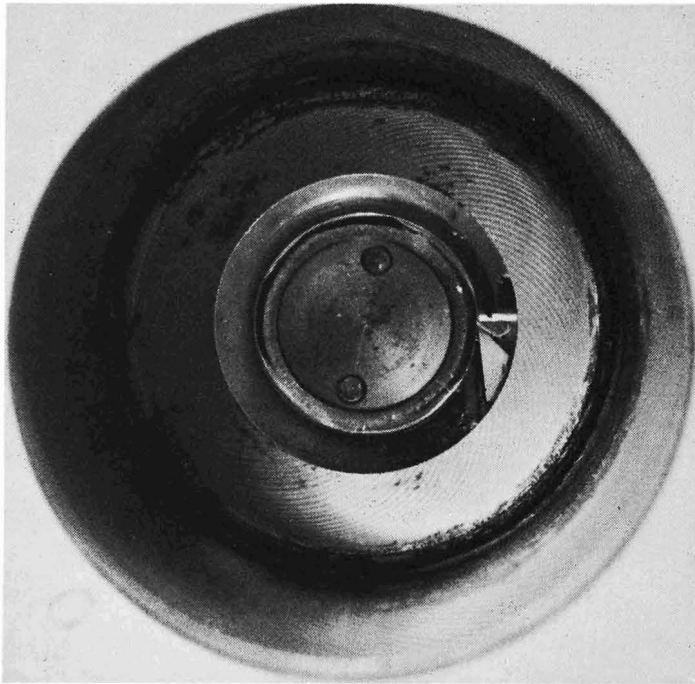


Abb. 6. Ringfenster im Zerspankopf

Filmkamera und Beleuchtungseinrichtung bestimmen die Möglichkeiten der Aufnahmetechnik. Für bewegungsscharfe Aufnahmen bei senkrechter Bewegung über die Bildfeldhöhe von 0,3 mm und einer Normal-Aufnahmefrequenz von 24 B/s (16 mm-Schmalfilmformat) sollte die Schnittgeschwindigkeit 0,1 mm/s nicht überschreiten. Entsprechend ergibt sich folgende Zuordnung von Schnittgeschwindigkeit und Aufnahmefrequenz

0,006 m/min	—	24 B/s
0,6 m/min	—	2400 B/s
2 m/min	—	8000 B/s
100 m/min	—	400000 B/s

Für die mikrokinematografischen Zerspanuntersuchungen wurden eine 16 mm-Normalfrequenz-Filmkamera (ARRIFLEX) und eine 16 mm-Hochfrequenz-Filmkamera (FASTAX) mit max. 7000 bis 8000 B/s eingesetzt. Bei Schnittgeschwindigkeiten über 2 m/min sind Bewegungsunschärfen dann unvermeidlich.

Die kurzen Belichtungszeiten von 1/20000 bis 1/25000 s bei 7000 bis 8000 B/s erfordern eine Lichtquelle mit sehr hoher Leuchtdichte. Das Beleuchtungsproblem wurde mit einer Xenonhöchstdrucklampe, die bei 2,5 kW Dauerleistung kurzzeitig auf 10 kW überlastet werden kann, gelöst werden.

Der optische Teil der Versuchseinrichtung ist schematisch in Abb. 7 dargestellt.

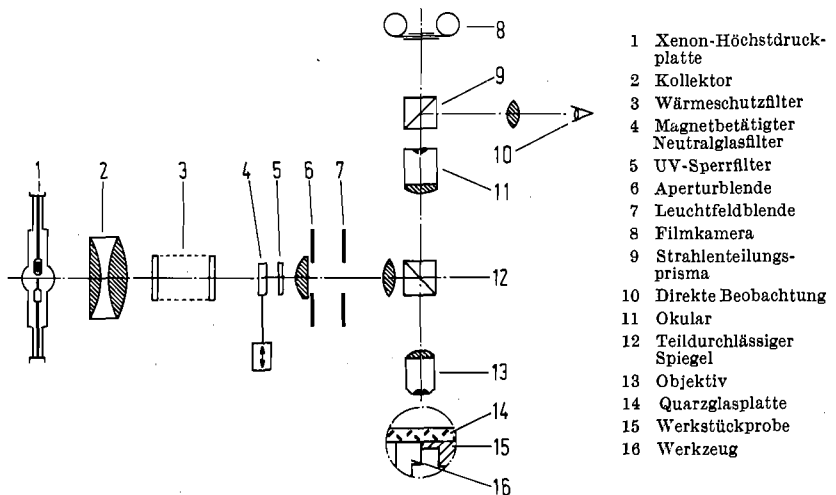


Abb. 7. Prinzip der optischen Versuchseinrichtung

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 geläpft, damit bei der vorliegenden Vergrößerung das Werkzeug ideal scharf, ohne Schleifriefen und Kantenausbrüche erscheint. Der Gleitvorgang zwischen Glasplatte und Schneidkeil ist durch auftretende Glassprünge und Mikrorisse besonders kritisch, so daß mit einem Immersionsöl als Gleitmittel geschmiert wird.

Versuchswerkstoff

Bei dem Werkstoff AlCuMgPb handelt es sich um eine aushärtbare Aluminium-Knetlegierung, die wegen ihrer günstigen Zerspaneigenschaften zu den Automatenwerkstoffen zählt. Das in Abb. 8 dargestellte Gefüge zeigt ein relativ großes Makrokorn mit Korngrößen im Millimeterbereich. Es besteht im wesentlichen aus Al-Cu- und Al-Mg-Mischkristallen. Bei den im Mikrogefüge sichtbaren dunklen Streifen handelt es sich um intermetallische Verbindungen Al_2Cu . Das Blei, das mit den anderen Legierungselementen keine Verbindung eingeht, erkennt man an den runden, grauen Tröpfchen. Es wirkt bei der Zerspanung vor allem als Schmiermittel in den Werkzeugkontaktzonen und begünstigt gleichzeitig den Spanbruch.

AlCuMgPb	nach DIN 1725	
	Härte HV 30	1240 N/mm ²
	Zugfestigkeit nach DIN 50150	430 N/mm ²

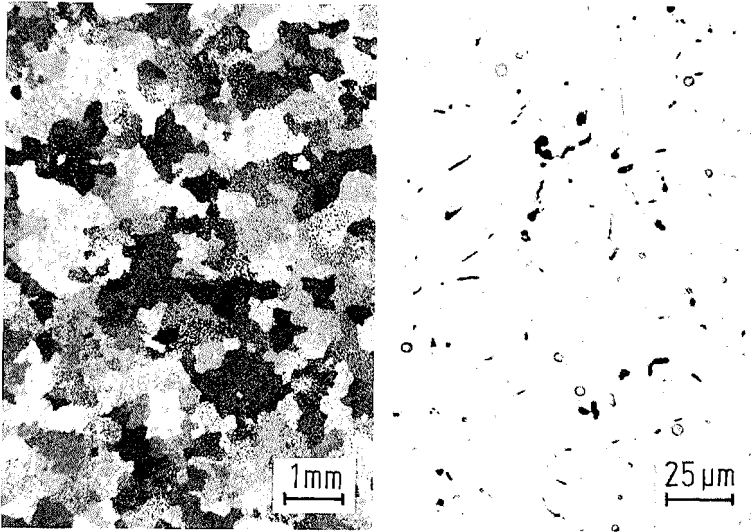


Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffs

Filmbeschreibung¹

Der Film zeigt den ebenen Zerspanvorgang, bei dem das Werkzeug durch den Schneidkeil, begrenzt durch Span- und Freiflächenkante, dargestellt wird. Gelegentliche versuchstechnisch bedingte Sekundärererscheinungen, wie die Bildung eines dünnen Werkstofffilms aus kleinsten Spanteilchen auf dem Schneidkeil an der rotierenden Quarzglasplatte oder Schlieren und Luftbläschen im Schmierfilm des Immersionsöls, beeinträchtigen die Beobachtung der Spanentstehungsvorgänge nur unwesentlich.

In der Spanentstehungszone gibt es Bereiche unterschiedlicher Spannungs- und Formänderungszustände, die die polierte und geätzte Werkstückoberfläche an der Glasplatte verändern, so daß Rückschlüsse auf die Art der Werkstoffverformung möglich sind. Infolge hoher Druckbeanspruchung wird der Werkstoff gestaucht und gegen die Glasplatte gepreßt. Dabei legen sich die so beanspruchten Oberflächenbereiche mikrogeometrisch dicht an die Glasplatte an, so daß sie gegenüber dem unverformten Werkstoffgefüge, das durch die Ätzung je nach Gefügebestandteil eine Hell-Dunkel-Schattierung aufweist, heller erscheinen. Oberflächenbereiche, die nicht durch entsprechende Druckbeanspruchung gegen die Glasplatte gepreßt werden, werden durch den Schervorgang oder auch durch Dehnungen infolge von Zugbeanspruchung mikrogeometrisch rau und erscheinen aufgrund der diffusen Reflexion dunkler. Neben der Scherverformung in der Spanwurzel werden auch Verformungen vor der Scherzone (Bereich 5 in Abb. 1) sichtbar. Hierbei fällt auf, daß diese Verformungen von der Scherzone ausgehen und sich im einzelnen Kristall z. T. sprungartig fortpflanzen. Dabei werden gelegentlich Gleitbänder sichtbar. Aus den optischen Veränderungen unterhalb der Schnittfläche kann auf die Verformungstiefe in der Randzone der Werkstückoberfläche geschlossen werden.

Bei der Spanentstehung geht vom Schneidkeil sowohl eine Stauch- als auch eine Keilwirkung aus. Während die Stauchung mit einer Druckbeanspruchung des Werkstoffs verbunden ist und die Scherung bewirkt, verursacht die Keilwirkung eine Zugbeanspruchung, unter der das Werkstoffgefüge auseinandergetrieben wird. Da der Gefügezusammenhalt größer als die auftretende Zugbeanspruchung ist, kommt es nicht zu einer Rißbildung vor der Schneide (voreilender Riß). Die Werkstofftrennung erfolgt durch Abscheren. Unter der Zugbeanspruchung durch die Keilwirkung werden die Spanunterseite und die Randschicht des Werkstücks rau und lösen sich teilweise geringfügig von der Glasplatte, so daß die Bereiche dunkler und teilweise unscharf erscheinen. Diese Vorgänge erzeugen beim laufenden Film den Eindruck eines „Saugeffekts“. Das grobe Kristallgefüge der Aluminiumlegierung AlCuMgPb bestimmt die Spanentstehung bei diesem Werkstoff. Die Korngröße beträgt teil-

¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

weise ein Mehrfaches der Spannungsdicke, so daß die Spanbildung über einen längeren Schnittweg an einem einzelnen Korn verfolgt werden kann. Aufgrund der Kristallstruktur, deren Punkte, Richtungen und Ebenen mit Hilfe der sog. Millerschen Indizes festgelegt und bezeichnet werden, vollziehen sich Verformungen in bevorzugten Gitterebenen, den Gleitebenen, die der dichtest gepackten Ebene im Kristallgitter entsprechen. Beim kubisch-flächen-zentrierten Aluminiumgitter sind dies alle Oktaederebenen (111). Hinsichtlich der äußeren Kraftereinwirkung durch den Schneidkeil beim Spanentstehungsvorgang zeigen die einzelnen Kristallite entlang des Schnittweges eine wechselnde Kristallorientierung. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich mehr oder weniger günstige Verformungszustände für die Spanbildung, so daß bei der Zerspannung dieses Werkstoffes die Spanarten vom reinen Fließspan zum typischen Scherspan mit der ganzen Variationsbreite möglicher Zwischenformen wechseln.

Der Spanwinkel beeinflusst entscheidend das Verhältnis von Stauch- und Keilwirkung des Schneidkeils auf die Spanwurzel.

Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min

Spannungsdicke 20 bis 40 μm

48 B/s

Bildfeldbreite etwa 400 μm

Spanwinkel 45°

Ein Spanwinkel von 45° ergibt einen sehr schlanken Schneidkeil, von dem beim Spanen aufgrund der geringen Werkstoffverformung in der Scherzone eine entsprechend geringe Werkstoffbeanspruchung ausgeht. Deshalb entsteht ein Fließspan, der nur gelegentlich an den Korngrenzen durch teilweises Abscheren unterbrochen wird. Der Trennvorgang an der Schneidkante erzeugt infolge der Keilwirkung einen starken „Saug-effekt“, der durch Unschärfen in den Randzonen des Werkstücks und des Spans entsteht. Diese Erscheinung deutet auf Zugbeanspruchung in einem bestimmten Bereich vor der Schneidkante hin. Diese Beanspruchungsverhältnisse sind auch dafür verantwortlich, daß sich gelegentlich die angeschnittenen Kristalle an ihren Korngrenzen dicht unterhalb der Schnittkante teilweise oder ganz aus dem Werkstoffverband herauslösen.

Spanwinkel 30°

Hier ist der Spanentstehungsvorgang ähnlich wie beim Spanwinkel 45°. Der Fließspan ist allerdings etwas unregelmäßiger und das Stauchverhältnis Spandicke zu Spannungsdicke ist geringfügig größer.

Spanwinkel 15°

Mit kleiner werdendem Spanwinkel und damit größer werdendem Keilwinkel nimmt die Keilwirkung, die den Werkstoff auseinander treibt, ab und die Werkstoffstauchung vor der Spanfläche zu. Damit verbunden ist die Beobachtung einer sekundären Scherung an der Span- und Freifläche, so daß an der Spanunterseite und an der Schnittfläche die Fließschicht als schmaler heller Streifen erscheint. Die Unregelmäßigkeiten bei der Spanentstehung nehmen weiter zu.

Spanwinkel 0°

Hier nimmt die vom Schneidkeil ausgehende Stauchwirkung weiter zu, so daß die Spanbildung von Korn zu Korn stärker zwischen Fließ- und Scherspan wechselt. Auch die Fließschichtbildung durch sekundäre Scherung ist ausgeprägter. Gelegentlich sind auch Ansätze einer Aufbauschneidenbildung zu beobachten.

Spanwinkel —20°

Die Werkstoffverformung in der Spanentstehungszone nimmt so weit zu, daß die Scherspanbildung überwiegt. Dabei wird der Werkstoff so lange vor der Spanfläche aufgestaucht, bis das einzelne Spanelement abgeschert wird und über die Spanfläche abwandert. Die Verformungsstruktur im Span ist entsprechend fein und erscheint aufgrund der hohen Druckbeanspruchung hell. Die oberflächenbestimmende Wirkung des Schneidkantenbereichs an der Freifläche ist deutlich zu erkennen.

Literatur

- [1] ISAJEV, A. I., und V. N. GORBUNOVA: A new Filming Method for Investigating the Process of Plastic Deformations in the Zone of Chip Formation. Res. Film 3, 6 (1960), 349—356.
- [2] WARNECKE, G.: Spanbildung bei metallischen Werkstoffen. Technischer Verlag Resch KG, Gräfelfing b. München 1974.
- [3] WIEBACH, H. G., und G. HUMMEL: Mikrokinematografische Studien über das Zerspanen von Metallen. Res. Film 5, 5 (1966), 501—509.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. G. WARNECKE, Lehrstuhl und Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen. Technische Universität Hannover, D 3000 Hannover, Welfengarten 1A.

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1975 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 71 m, 6 1/2 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden in den Jahren 1968 und 1969. Veröffentlichung aus dem Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen der Technischen Universität Hannover, Dr.-Ing. H.-G. WIEBACH, Dr.-Ing. G. WARNECKE, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Ing. G. HUMMEL.

Inhalt des Films

Der Film zeigt den Spanantstehungsvorgang beim Orthogonalschnitt an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus der Aluminium-Knetlegierung AlCuMgPb. Aufgrund des grobkristallinen Gefüges und der darin regellos orientierten Kristallite, deren Korngrößen teilweise ein Vielfaches der Spannungsdicke betragen, ergibt sich eine entsprechend unregelmäßig wechselnde Spanbildung. Dabei beeinflusst der Spanwinkel die Art der Werkstoffbeanspruchung, d. h. das Verhältnis von Stauch- und Keilwirkung, so daß mit kleineren und negativen Spanwinkeln die Spanantstehung unregelmäßiger wird und mit zunehmender Variationsbreite zwischen Fließ- und Scherspan wechselt.

Summary of the Film

The film shows the process of chip formation in the orthogonal cutting of a polished and etched specimen consisting of the forging alloy AlCuMgPb. Owing to the coarse-crystalline structure of the alloy and the randomly oriented crystallites whose grain sizes are, in part, many times the thickness of individual chips, there is a correspondingly irregular variation in the resultant chip formation with the rake angle affecting the type of stresses and strains imposed on the material, that is to say the ratio of upsetting action to wedge action so that, with smaller and eventually negative rake angles, the chips become more irregular and change with increasing width of variation from flow chips to shear chips.

Résumé du Film

Le film montre le processus de formation de copeaux, lors de la coupe orthogonale d'un échantillon poli et corrodé de l'alliage d'aluminium forgeable AlCuMgPb. Du fait de la structure à gros cristaux et des cristallites orientés sans aucune règle, dont la grosseur égale en partie plusieurs fois la profondeur de coupe, la formation des copeaux varie irrégulièrement. L'angle de dépouille influence la nature du travail du matériau, c.a.d. le rapport entre l'effet de refoulement et l'effet de calage, si bien que plus les angles de dépouille sont petits, voire négatifs, plus la formation de copeaux est irrégulière, et varie avec une largeur de variation croissante entre le copeau écoulant et le copeau au cisaillement.

Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffes