

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 1951/1975*

**Zerspanen von Stahl C 45 W 3  
Schnittvorgang im Feingefüge  
Variation des Spanwinkels**

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 1951

## **Zerspanen von Stahl C 45 W 3 Schnittvorgang im Feingefüge Variation des Spanwinkels**

G. WARNECKE, Hannover

### **Allgemeine Vorbemerkungen<sup>1</sup>**

#### **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.

<sup>1</sup> 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

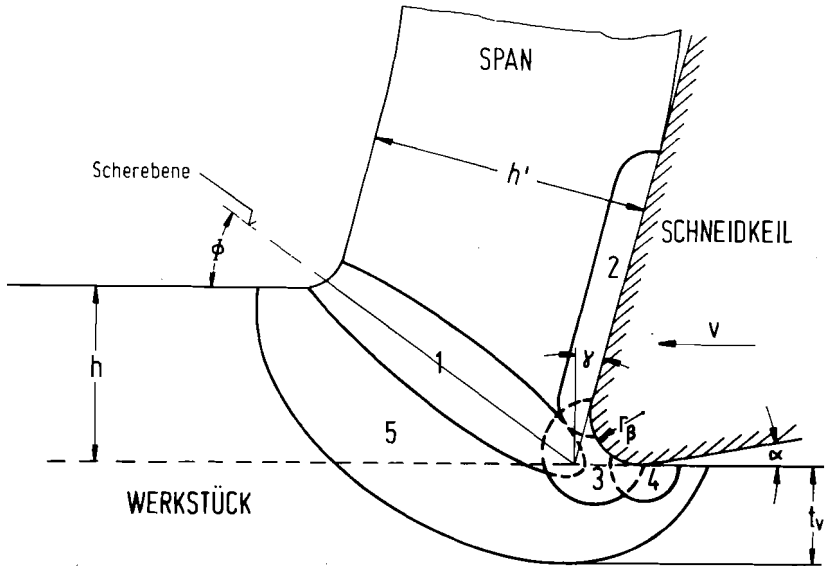


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung

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 Scherzone über die Spanfläche ab. Ausgehend von der Wechselwirkung des Gleitgeschehens in der Scherzone 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 Spanelementen 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.

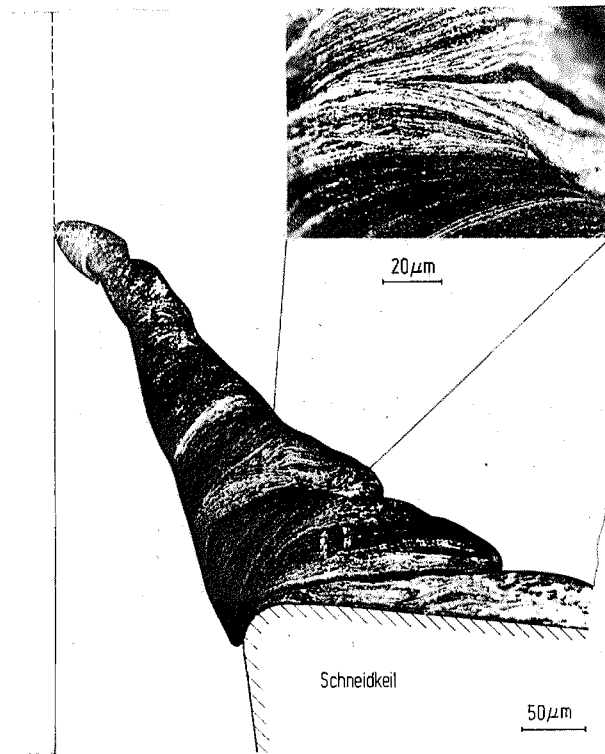


Abb. 3. Form und Struktur einer Aufbauschneide

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.

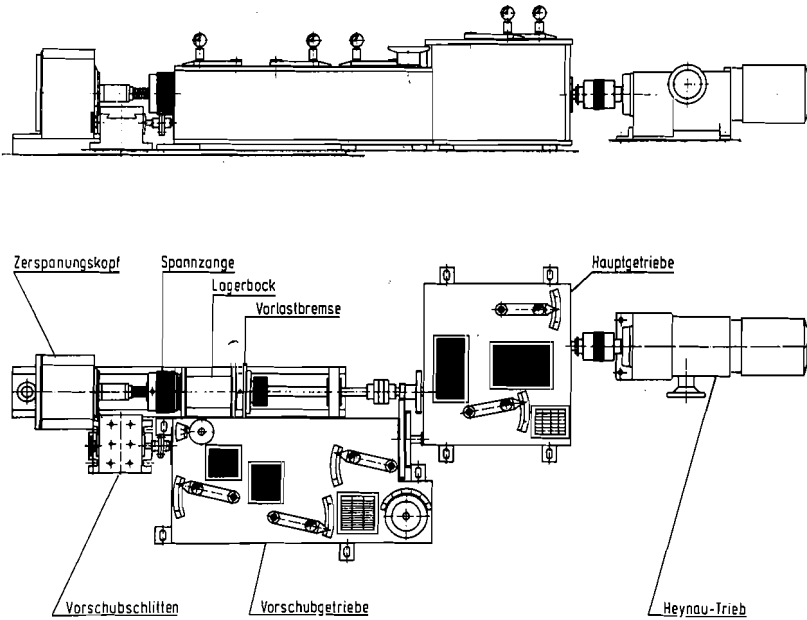


Abb. 4. Spezial-Drehmaschine; Anordnung der Baugruppen

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 Spanwurzelbreitung 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.

#### Versuchstechnik<sup>1</sup>

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

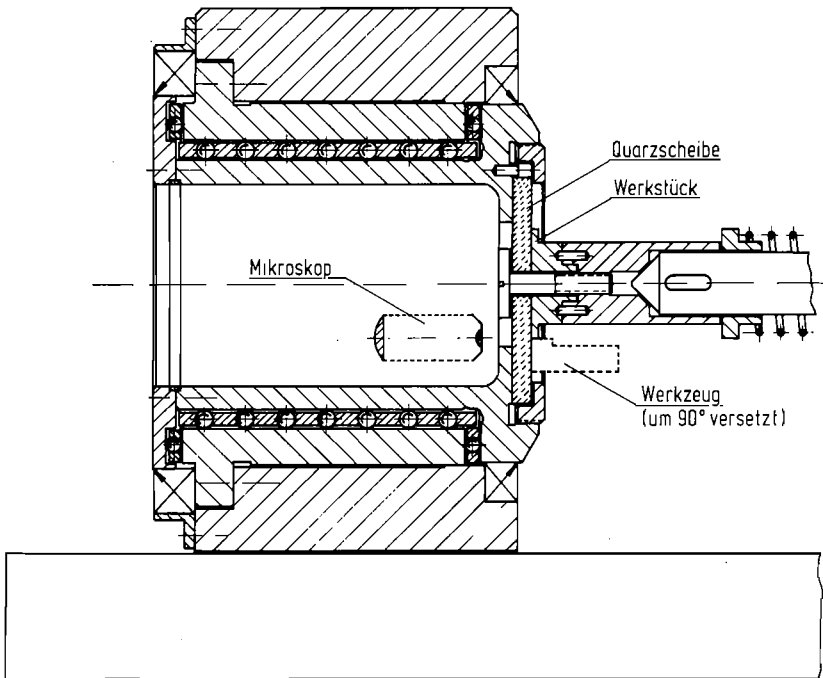


Abb. 5. Zerspankopf mit der Wirkstelle

<sup>1</sup> Bei der Lösung der schwierigen versuchstechnischen Probleme, insbesondere bei der Entwicklung der Aufnahme- und Beleuchtungstechnik für die mikrokinematografischen 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  $\mu\text{m}$  bei einem Bildfeld von  $0,4 \times 0,3 \text{ mm}^2$ . Das Werkzeug sitzt auf dem Vorschubschlitten und gleitet an der Quarzglasplatte.

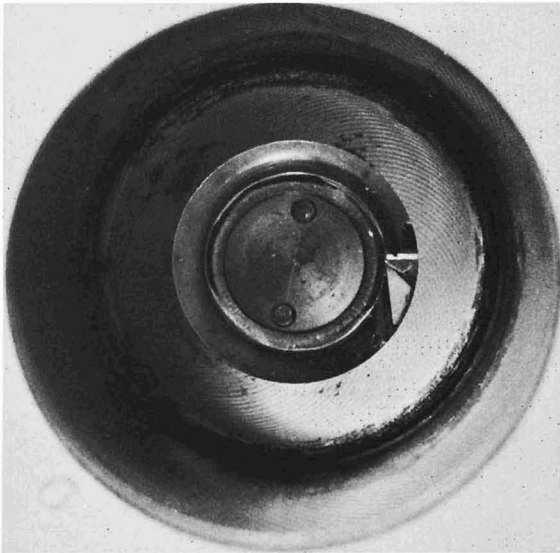


Abb. 6. Ringfenster im Zerspankopf

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-Schmalformat) 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.

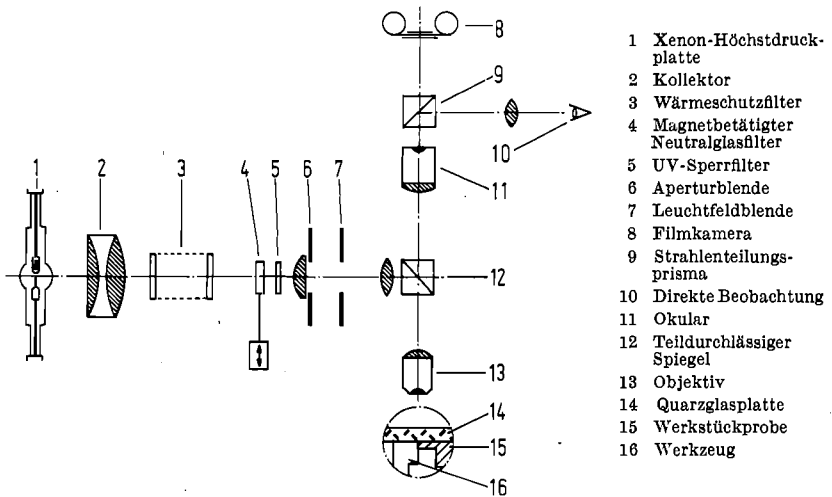


Abb. 7. Prinzip der optischen Versuchseinrichtung

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 Schnell-arbeitsstahl wird von Hand geläpft, damit bei der vorliegenden Ver-größerung das Werkzeug ideal scharf, ohne Schleifriefen und Kanten-ausbrüche erscheint. Der Gleitvorgang zwischen Glasplatte und Schneid-keil ist durch auftretende Glassprünge und Mikrorisse besonders kritisch, so daß mit einem Immersionsöl als Gleitmittel geschmiert wird.

### Versuchswerkstoff

Ein in der Zerspanforschung häufig untersuchter Werkstoff ist der C 45, dessen Gefüge bei 0,45% C eine für die Spanbildung günstige Ferrit-Perlit-Verteilung zeigt. Der untersuchte unlegierte Werkzeugstahl C 45 W 3 ergibt das in Abb. 8 dargestellte Schlibbild. Deutlich ist der streifige Zementit im Perlit zu erkennen.

C 45 W 3	nach SEW 150-63	
	normalgeglüht	
	Härte HV 30	2020 N/mm <sup>2</sup>
	Zugfestigkeit nach	
	DIN 50150	690 N/mm <sup>2</sup>

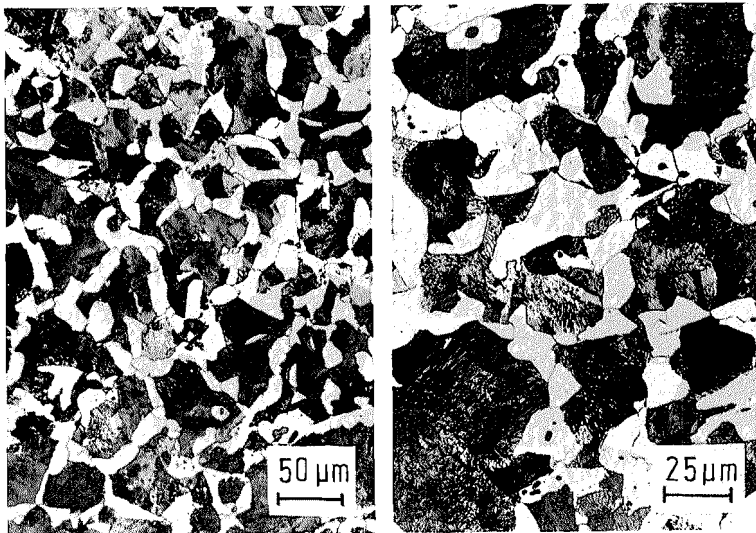


Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffes

## Filmbeschreibung<sup>1</sup>

Der Film zeigt den ebenen Zerspanvorgang, bei dem das Werkzeug durch den Schneidkeil, begrenzt durch Span- und Freiflächenkante, dargestellt wird. Gelegentliche versuchstechnisch bedingte Sekundärercheinungen, 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 Reißbildung vor der Schneide (voreilender Reiß). 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“.

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

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

*Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min*

*Spanungsdicke 40 bis 90  $\mu\text{m}$*

*48 B/s*

*Bildfeldbreite etwa 400  $\mu\text{m}$*

*Spanwinkel 45°*

Ein Spanwinkel von 45° ergibt einen für die Metallzerspanung ungewöhnlich schlanken Schneidkeil, der auf das Werkstoffgefüge eine relativ große Keilwirkung ausübt. An der Schneidkante kann der „Saugeffekt“ deutlich beobachtet werden. Der Span erscheint im Längsschnitt in einem großen Bereich, von der Unterseite ausgehend, dunkel. Nur etwa ein Drittel der Spandicke an der Oberseite erscheint hell, da hier der Werkstoff unter Druckbeanspruchung gegen die Glasplatte gepreßt wird.

Der Span zeigt eine relativ glatte Oberfläche und fließt gleichmäßig ab. Eine Spanstruktur ist infolge der geringen Scherung nur schwach zu erkennen. Die abgerundete Schneidkante ermöglicht Ansätze von Aufbauschneiden.

*Spanwinkel 20°*

Hier erfolgt die Spanentstehung unter einer deutlich sichtbaren Scherung des Werkstoffs, die im Span eine gleichmäßig ausgerichtete Gefügestruktur ergibt. Die Spanoberseite ist stärker zerklüftet, da die größere Scherverformung Anrisse durch Abscheren verursacht. Der Span erscheint infolge der zugenommenen Stauchwirkung über einen größeren Bereich heller, und nur noch etwa ein Viertel der Spandicke an der Spanunterseite ist dunkel. Der „Saugeffekt“ beschränkt sich auf den unmittelbaren Schneidkantenbereich. Auch hier ermöglicht die abgestoßene Schneidkante Ansätze zur Aufbauschneidenbildung, die sich nachteilig auf das Oberflächenergebnis am Werkstück auswirken.

*Spanwinkel 0°*

Die vom Schneidkeil ausgehende Stauchwirkung bestimmt die Spanentstehung. Die Scherung hat zugenommen, so daß sich an der Spanoberfläche, aber auch an der Spanunterseite verstärkt Anrisse zeigen. Infolge einer sekundären Scherung auf der Spanfläche erscheint in der Spanunterseite eine Fliebschicht, die nur durch die Anrisse unterbrochen wird. Eine Keilwirkung deutet sich in einem kleinen Bereich in Schnittrichtung an. Der Span erscheint allerdings aufgrund der intensiven Scherung gleichmäßig hell.

## *Spanwinkel —20°*

### *Fließspanbildung*

Hier entsteht ein Span mit einer feinen Gefügestruktur, die aufgrund der hohen Druckbeanspruchung gleichmäßig hell erscheint. Die große Scherverformung bewirkt größere Anrisse an der Spanoberseite, so daß der Span ein stark zerklüftetes Profil zeigt. Die Spanunterseite weist eine gleichmäßige, nicht von Anrissen unterbrochene Fließschicht auf, deren Entstehen aufgrund der intensiven sekundären Scherung auf der Spanfläche gut beobachtet werden kann. Eine kleine, schlanke und stabile Aufbauschneide füllt den bei negativem Spanwinkel häufig als „tote Zone“ charakterisierten Bereich vor der Schneidkante aus und erleichtert so den Spanentstehungsvorgang.

### *Scherspanbildung*

Die bei der Fließspanbildung zu beobachtenden Anrisse an der Spanoberseite deuten bereits an, daß bei einem Spanwinkel von —20° der Wechsel zur Scherspanbildung durch die Änderung der Schnittbedingungen möglich ist. Eine geringfügig größere Spannungsdicke bewirkt diesen Wechsel, so daß unter sonst unveränderten Versuchsbedingungen hier Scherspäne entstehen.

Bei der Bildung eines Scherspanelements wird der infolge der Schnittbewegung auf den Schneidkeil zukommende Werkstoff gestaucht und kommt auf der Spanfläche aufgrund der Reibung zum Stillstand. Der nachfolgende Werkstoff schiebt sich solange darüber, bis die zunehmende Zerspankraft ausreicht, den Span von der Spanfläche loszubrechen. Dabei schert der Span in einer bevorzugten Zone unter einem relativ kleinen Scherwinkel durch Anrisse, sowohl von der Schneidkante als auch von der Spanoberseite ausgehend, ab. Durch Anschneiden der schrägen Abscherfläche entsteht das nächste Scherspanelement. Je nach Fortschreiten der erwähnten Anrisse bildet sich ein mehr oder weniger zusammenhängender Scherspan.

### **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, 52 m, 5 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. G. WARNECKE, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Ing. G. HUMMEL.

### **Inhalt des Films**

Der Film zeigt den Spanantstehungsvorgang an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus dem unlegierten Werkzeugstahl C 45 W 3. In dem perlitisch-ferritischen Gefüge sind die verschiedenen Erscheinungsformen der Spanantstehung und die einzelnen Verformungsvorgänge besonders gut zu beobachten. Der Spanwinkel beeinflusst Art und Umfang der Werkstoffbeanspruchung, indem mit kleiner und negativ werdendem Spanwinkel die Stauchwirkung und damit die Scherverformung zunimmt. Daraus ergibt sich der Wechsel vom gleichförmigen Fließspan bei 45° bis zur unregelmäßigen Scherspanbildung bei -20°.

### **Summary of the Film**

The film shows the process of chip formation on a polished and etched specimen of C 45 W 3 unalloyed tool steel. The various phenomena of chip formation and the individual deformation processes can be observed particularly well in the perlitic-ferritic structure of the material. The rake angle affects the type and extent of the stresses and strains to which the material is subjected in that the upsetting action and hence the shear strain increase as the positive rake angle becomes smaller and eventually turns negative. From this results the change from uniform flow chips at +45 degrees to irregular shear chips (curl chips) at -20 degrees.

### **Résumé du Film**

Le film montre le processus de formation de copeaux sur une pièce usinée polie et corrodée, en acier à outils non allié C 45 W 3. La structure perlite-ferritique permet d'observer nettement les différentes manifestations de la formation des copeaux et les phénomènes de déformation successifs. L'angle de dépouille influe sur la nature et l'importance du travail du matériau, à savoir qu'à mesure que l'angle de dépouille diminue et devient négatif, l'effet de refoulement et ainsi la déformation au cisaillement augmentent. Il en résulte le changement du copeau écoulant régulier, à 45°, en une formation irrégulière de copeaux de cisaillement à -20°.