

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 1952/1975

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

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 1952

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

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. 18 u. 19.

Abb. 1 zeigt eine Einteilung dieser an der Spanantstehung beteiligten Werkstoffbereiche in fünf Wirkzonen. Zone 1 kennzeichnet die unmittelbare Spanantstehungszone. 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 Spanantstehungsvorgang 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

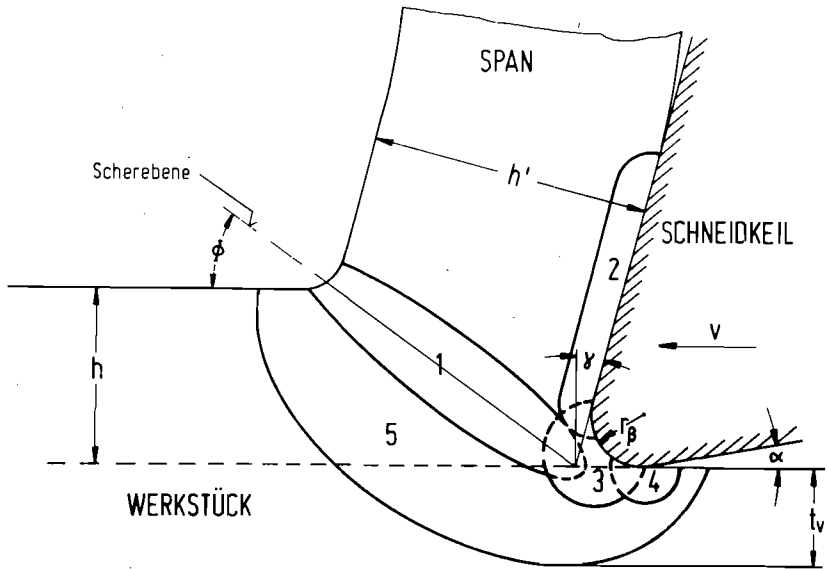


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanantstehung

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 Seherung 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 Spänelementen 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 Spanungsdicke, die Schnittgeschwindigkeit sowie die Schneidkeilgeometrie mit dem Spanwinkel und dem Schneidkantenradius die wichtigsten veränderlichen Zerspanparameter.

Die Spanungsdicke 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 Spanungsdicke 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 Spanungsdicke, nicht konstant ist und andererseits mit zunehmender Spanungsdicke 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 Spanablauf-richtung 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.

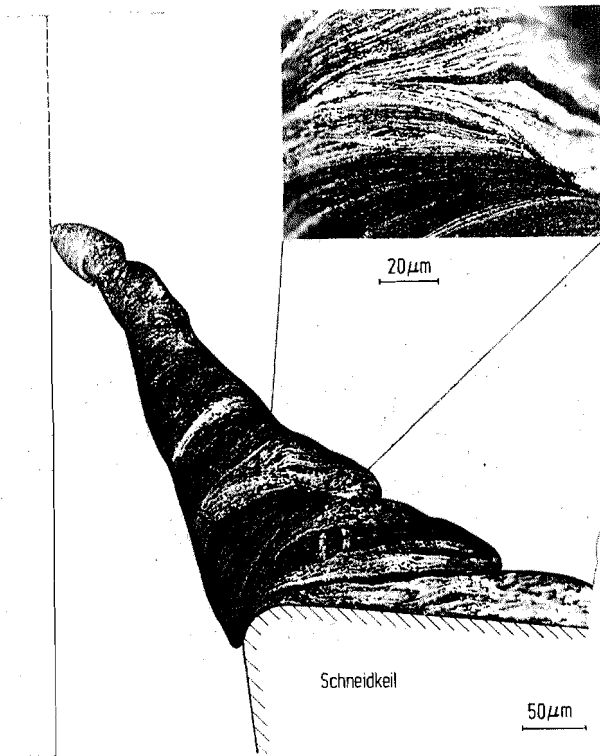


Abb. 3. Form und Struktur einer Aufbauschneide

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.

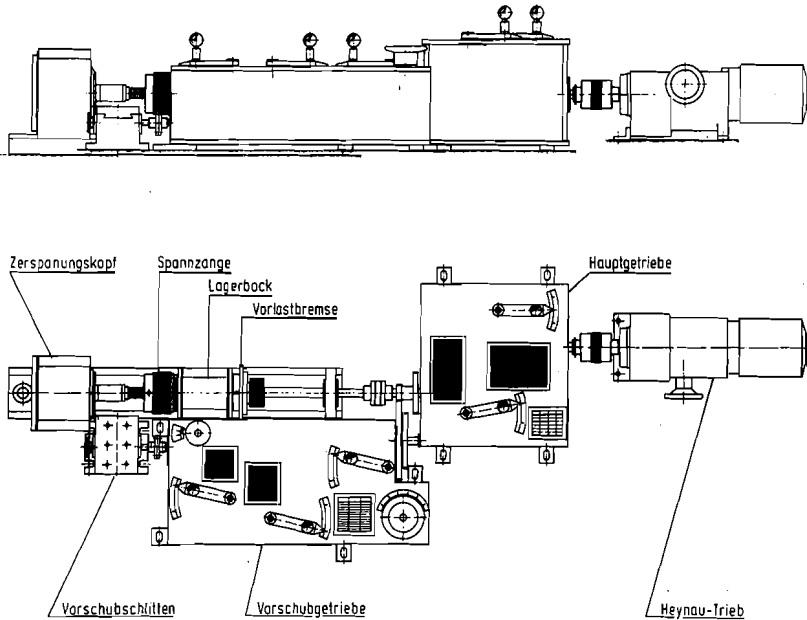


Abb. 4. Spezial-Drehmaschine; Anordnung der Baugruppen

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 mikrokinematografische Zerspanuntersuchungen entwickelt und gebaut. Der Antrieb erfolgt von einem stufenlos verstellbaren HEYNAU-Trieb über das sechsstufige Haupt-

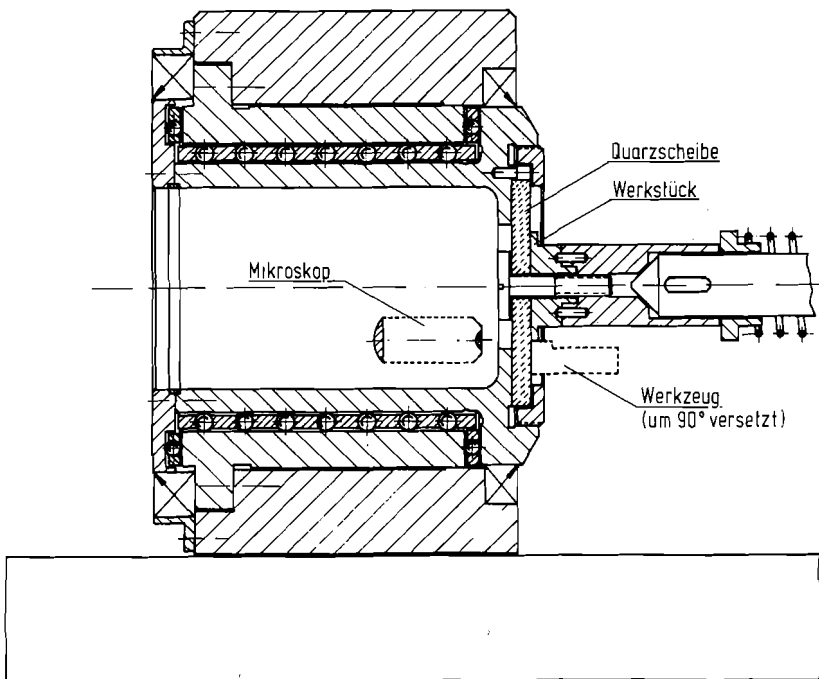


Abb. 5. Zerspankopf mit der Wirkstelle

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

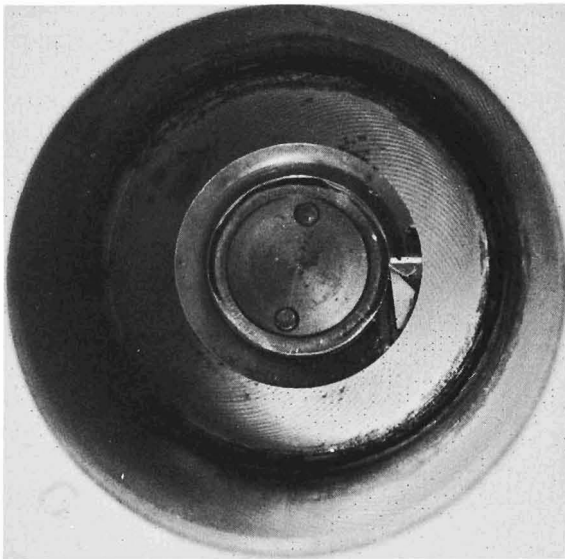


Abb. 6. Ringfenster im Zerspankopf

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-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.

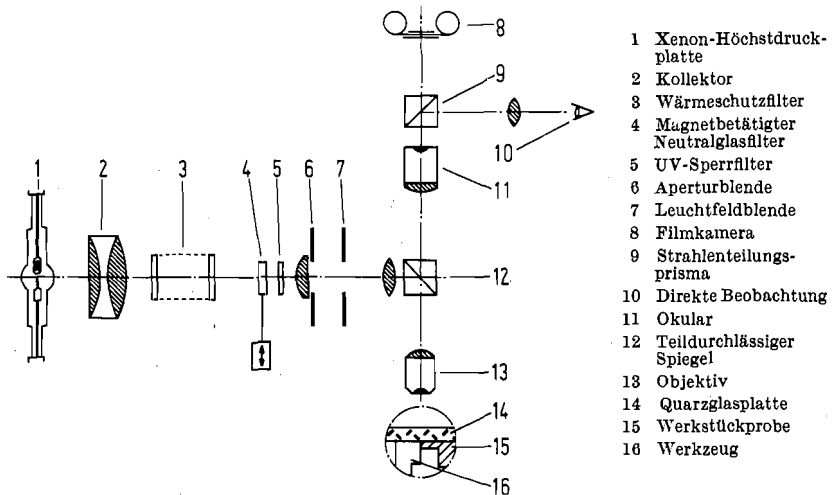


Abb. 7. Prinzip der optischen Versuchseinrichtung

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 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

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 ²
	Zugfestigkeit nach	
	DIN 50150	690 N/mm ²

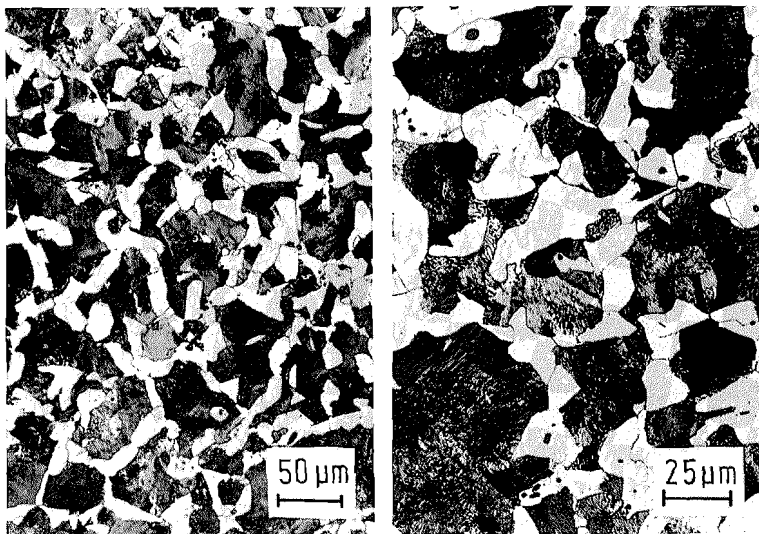


Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffes

Filmbeschreibung¹

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 Ribbildung vor der Schneide (voreilender Rib). 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“.

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

Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min

Spanungsdicke bis 100 μm

48 B/s

Bildfeldbreite etwa 400 μm

Spanwinkel 0°

Schneidenradius etwa 5 μm

Bei im wesentlichen gleichmäßiger Scherung des Werkstoffs entsteht ein Fließspan mit eindeutig ausgerichteter Gefügestruktur. Die Spanoberseite erscheint aufgrund der ungleichmäßigen Scherung im Oberflächenbereich der Scherzone mit Anrissen durch Abscheren entsprechend rau. Auf der Spanfläche unmittelbar hinter der Schneidkante hat sich eine Aufbauschneide gebildet, die einen gleichmäßigen Übergang von der Schnitt- zur Spanablaufbewegung herstellt und damit die Spanentstehung begünstigt. Die Aufbauschneide erweist sich als sehr stabil. Dabei zeigt sich, daß sich auf einem scharf abgegrenzten, spitzen Kern dieser Aufbauschneide kleinere Schneidenansätze kurzzeitig festsetzen und wieder abwandern. Infolge der Aufbauschneide berührt der Span erst in einem Abstand von der Werkzeugschneide die Spanfläche und zeigt hier Ansätze einer sekundären Scherung mit Fließschichtbildung.

Schneidenradius etwa 20 μm

Ein Radius von etwa 20 μm ergibt bereits eine erkennbare Schneidkantenrundung, in deren Bereich der Werkstoff besonders stark verformt wird, so daß sich hier infolge der damit verbundenen Kaltverfestigung bevorzugt Aufbauschneiden bilden. Wenn auch die vorhandenen Aufbauschneiden sehr klein sind, so wird doch deutlich, daß sie den abgerundeten Bereich des Schneidkeils ausfüllen und mit einer scharfen Spitze die Spanentstehung begünstigen. Der wechselnde Bildungsvorgang verursacht Unregelmäßigkeiten bei der Fließspanbildung. Der intensive Kontakt mit der Spanfläche verstärkt die sekundäre Scherung in der Spanunterseite, so daß dort die Struktur des Spangefüges in Spanablaufrichtung abgelenkt wird.

Schneidenradius etwa 30 μm

Die anfangs sehr kleine aber spitze Aufbauschneide überdeckt nur einen Teil der Schneidkantenrundung, so daß der Span mit der Spanunterseite an der Spanfläche und das Werkstück mit der neu entstehenden Oberflächenschicht an der Freifläche gegen die Schneidkantenrundung läuft. Dabei werden diese Werkstoffbereiche durch intensive sekundäre Scherung beansprucht, so daß im Werkstück und im Span Fließschichten ent-

stehen. Über einen längeren Schnittweg bleibt die Aufbauschneide bei gleichmäßiger Fließspannbildung unverändert, bis durch Anlagern neuer Werkstoffschichten die Aufbauschneide schnell größer wird und so die Spannbildung durch Verminderung der Werkstoffbeanspruchung infolge eines günstigen Aufbauschneiden-Spanwinkels erleichtert. Die Aufbauschneide wächst auch in Richtung auf das Werkstück, so daß ein Freiflächenspalt entsteht. Dieser vorbauende Teil wird jedoch bald abgeschert und wandert mit dem Werkstück über die Freifläche ab. Dadurch entsteht an der Aufbauschneide ein negativer Freiwinkel, so daß die Werkstückrandschicht infolge sekundärer Scherung eine ungleichmäßige Fließschicht mit Zipfelbildung aufweist.

Schneidenradius etwa 50 μm

An der Schneidkantenrundung sitzt wieder eine scharf abgegrenzte, spitze Aufbauschneide, die sich durch die Belastung aus dem Spanentstehungsvorgang allmählich zur Freifläche hin verschiebt, bis sie endgültig mit dem Werkstück abwandert, indem sie sich tief in die Schnittfläche hineindrückt. Aufgrund der starken Werkstoffverformung und der damit verbundenen Verfestigung an der abgerundeten Schneidkante beginnt unmittelbar die Bildung einer neuen Aufbauschneide, die sich erst nach wechselndem Bildungsvorgang deutlich sichtbar profiliert. Die Wechselwirkung zwischen Aufbauschneidenbildung und Spanentstehung zeigt sich in der Ungleichförmigkeit dieses Bildungsvorgangs.

Anschnittvorgang

Der Anschnittvorgang hängt im wesentlichen von der Schneidkantenrundung ab, da der Widerstand gegen das Eindringen des Schneidkeils in die Oberflächenschicht des Werkstücks mit größer werdendem Radius zunimmt. Die erste Berührung zwischen Werkzeug und Werkstück findet an der von der Freifläche ausgehenden Schneidkantenrundung statt. Mit fortschreitender Schnitt- und Vorschubbewegung wird die gerundete Schneidkante immer tiefer in die Oberfläche eingedrückt. Dabei entsteht durch intensive Scherverformung eine Fließschicht an der Werkstückoberfläche. Nach Überschreiten der Mindestspannungsdicke, die sich durch Zusammendrücken der mikrogeometrischen Unebenheiten der Oberflächenschicht ergibt, beginnt die Spannbildung mit einer zunehmenden Werkstoffanhäufung vor der Schneidkantenrundung. Die Beanspruchung des Werkstücks wird durch die heller werdende Randschicht sichtbar. Sie ist während der Phase des Andrückens größer als bei der dann folgenden Spaantstehung, die von Beginn an von einer Aufbauschneidenbildung begleitet wird.

Spanwinkel 20°

Schneidenradius etwa 5 µm

Bei 20° Spanwinkel und scharfer Schneide ist die Werkstoffbeanspruchung und -verformung geringer im Vergleich zu 0° Spanwinkel, so daß der Span entsprechend gleichmäßig abläuft und, von Mikroschneidenansätzen an der Schneidkante abgesehen, keine Aufbauschnittenbildung vorhanden ist.

Schneidenradius etwa 20 µm

Die abgerundete Schneidkante mit der sich an ihr vollziehenden Werkstoffverformung ermöglicht wiederum eine Aufbauschnittenbildung mit unregelmäßig wechselnder Form und Größe. Sie beeinflusst die Spanentstehung, die sekundäre Scherung an der Span- und Freifläche, die Werkstückoberfläche und durch einen sich ändernden Freiflächenspalt die Spanungsdicke.

Schneidenradius etwa 50 µm

Die Aufbauschnitte sind entsprechend des größeren Verformungsbereichs vor der Schneidkantenrundung größer. Auffallend ist die starke Scherverformung in den mit dem Werkstück abwandernden Oberflächenbereichen. Kurzzeitige Werkstoffanhäufungen an der Aufbauschnitte, die mit dem Werkstück dann abwandern, sind für eine Zifpelbildung an der Werkstückoberfläche verantwortlich. Durch einen relativ stabilen Aufbauschnittenkern, der die Spanfläche verlängert, ist die Spanbildung entsprechend gleichmäßig.

Schneidenradius etwa 60 µm

Hier bildet sich eine gut abgegrenzte und scharfe Aufbauschnitte, die praktisch den abgerundeten Schneidkeil zu einem scharfkantigen ergänzt. Da die Aufbauschnitte an der Rundung keinen ausreichenden Halt findet, wandert sie bald mit dem Werkstück über die Freifläche ab, indem sie sich tief in die Schnittfläche eindrückt. Der sich unmittelbar anschließende Entstehungsvorgang einer neuen Aufbauschnitte gibt eine lückenlose Darstellung des Bildungsmechanismus bis zur voll ausgebildeten Aufbauschnitte. Dieser Vorgang wiederholt sich ein weiteres Mal. Die wechselnde Hell-Dunkel-Schattierung im Werkstoffgefüge deutet auf die sich ändernde Beanspruchung hin.

Anschnittvorgang

Der Anschnittvorgang bei 20° Spanwinkel entspricht dem bei 0°, da hier nur der abgerundete Teil der Schneidkante in das Werkstück eindringt. Der Einfluß des Spanwinkels zeigt sich erst bei größerer Spanungsdicke, wenn der Span beim Abläufen die Spanfläche berührt.

Schabender Schnitt

Der schabende Schnitt ist das Zerspanen mit abgerundeter Schneidkante bei kleinsten, gleichbleibenden Spanungsdicken in der Größenordnung der Mindestspanungsdicke, d.h. bei außerordentlich gezwängten Spanentstehungsverhältnissen. Dieser Zerspanfall kommt in der Praxis immer dann vor, wenn mit der Vorschubbewegung ein genaues Maß angefahren wird. Der schabende Schnitt ist durch starkes Drücken an der Schneide mit entsprechender Fließschichtbildung in der Werkstückoberflächenschicht und im Spanansatz sowie durch Stauchvorgänge gekennzeichnet, die eine Scherspannbildung bewirken. Bei kleinster Spanungsdicke ohne Spanentstehung ergibt die sekundäre Scherung eine durchgehende Fließschicht. Mit einsetzender Scherspannbildung reißt die Fließschicht in Abständen ab, so daß die Werkstückoberflächenschicht durch die Zipfelbildung entsprechend rau wird. Beim schabenden Schnitt bilden sich an der Schneidenrundung vor der Freifläche kleine Aufbauschneiden mit relativ stumpfen Keilwinkeln, die die Spanentstehung zur Fließspannbildung hin verändern.

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, 116 m, 11 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden in den Jahren 1969 bis 1971. 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. Die hohe Druckbeanspruchung und die daraus resultierende starke Werkstoffverformung in der Schneidkantenzone wirken sich insbesondere auf die Aufbauschneidenbildung aus. Anschnittvorgänge und schabende Schnitte zeigen höchste Werkzeugbelastung am oberflächenbestimmenden Schneidkantenteil.

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 high compressive strain and the marked deformation of the material in the cutting edge zone caused by it have a strong effect on the build-up of material at the cutting edge. Approach and scraping cuts demonstrate the extreme stresses and strains imposed on that part of the cutting edge which determines the quality of the machined surface.

Résumé du Film

Le film montre le processus de formation de copeaux sur un échantillon de pièce usinée poli et corrodé, de l'acier à outils non allié C 45 W 3. La structure perlite-ferritique permet de bien observer les différentes manifestations de la formation de copeaux et notamment les phénomènes successifs de déformation. Le gros travail à la compression et la forte déformation qui en résulte dans la zone des arêtes coupantes influent notamment sur la formation de crêtes structurales. Les opérations d'attaque de coupe et les coupes râclantes montrent la charge maximale de l'outil dans la partie des arêtes tranchantes qui déterminent la surface.