

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 1934/1975

**Zerspanen von Stahl C 45 W 3
Schnittvorgang im Feingefüge
Variation der Schnittgeschwindigkeit**

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 1934

Zerspanen von Stahl C 45 W 3 Schnittvorgang im Feingefüge Variation der Schnittgeschwindigkeit

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 Aufbauschneidenbildung, 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.

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

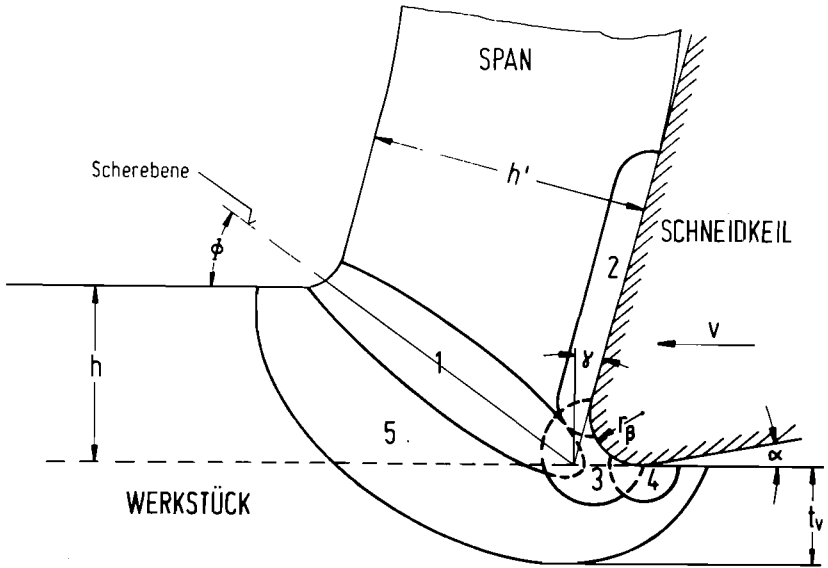


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung

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.

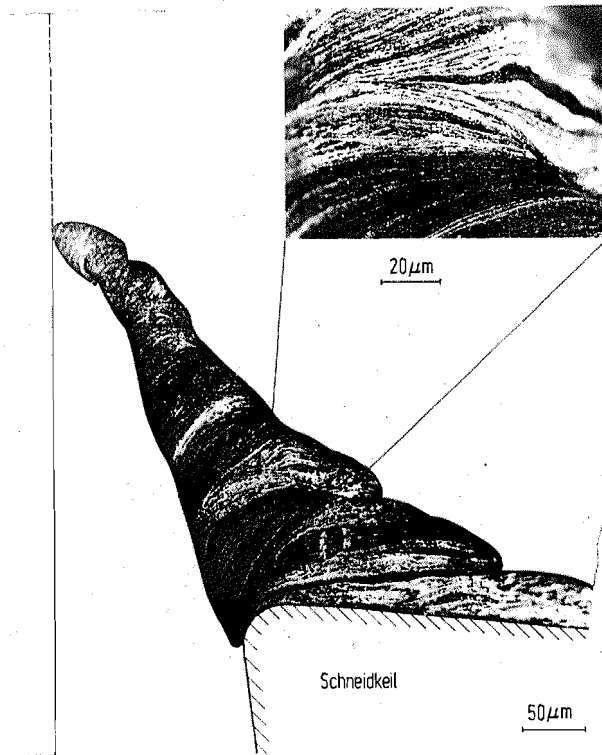


Abb. 3. Form und Struktur einer Aufbauschneide

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.

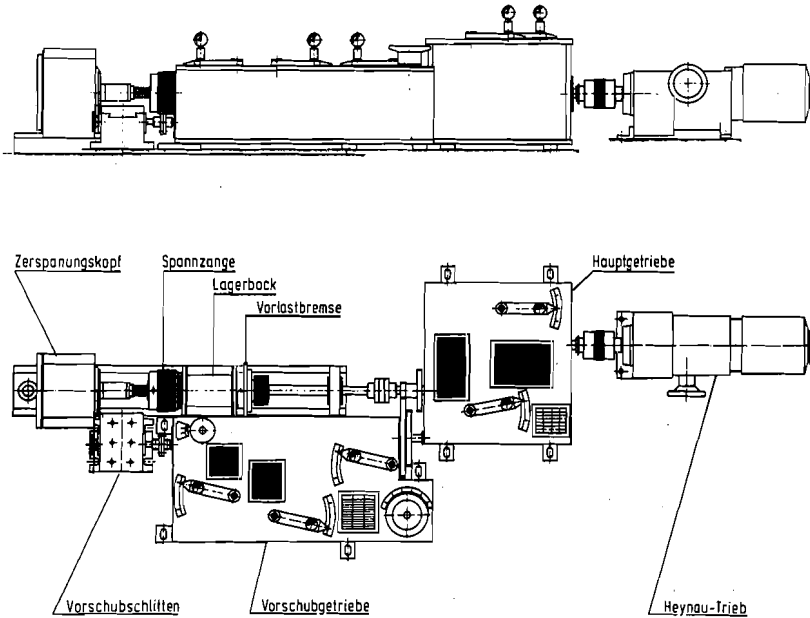


Abb. 4. Spezial-Drehmaschine; Anordnung der Baugruppen

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.

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-

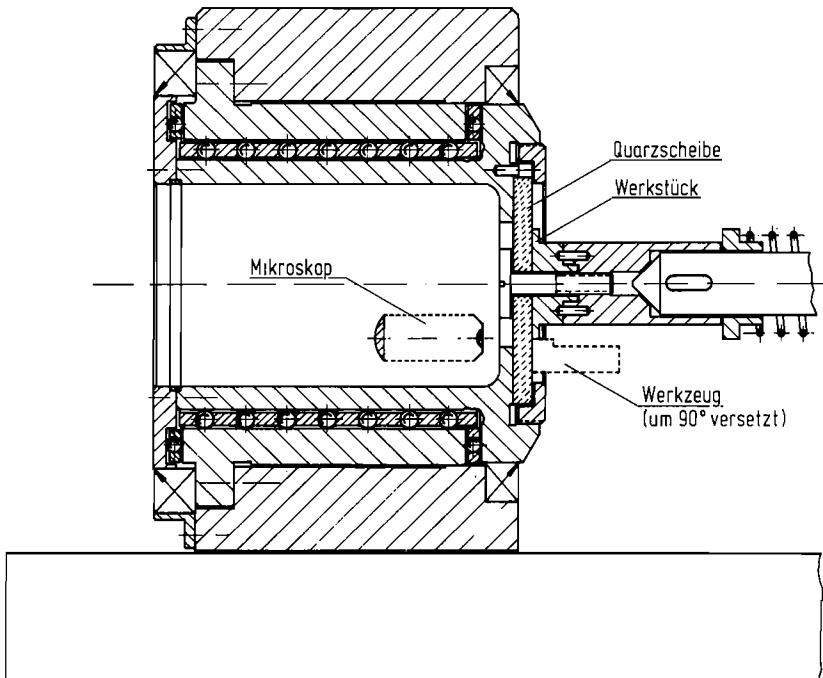


Abb. 5. Zerspankopf mit der Wirkstelle

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.

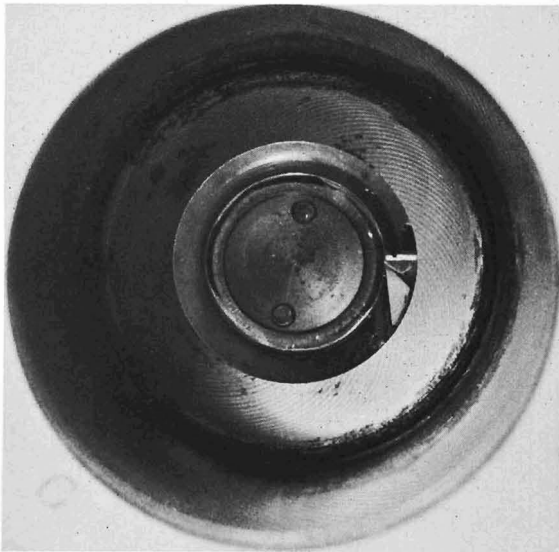


Abb. 6. Ringfenster im Zerspankopf

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-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.

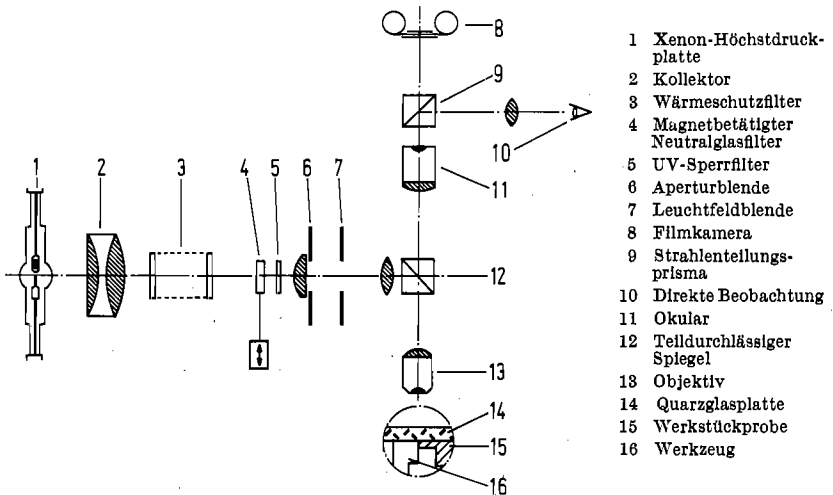


Abb. 7. Prinzip der optischen Versuchseinrichtung

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 Schnell-arbeitsstahl wird von Hand geläppt, 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 Schlibfbild. 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

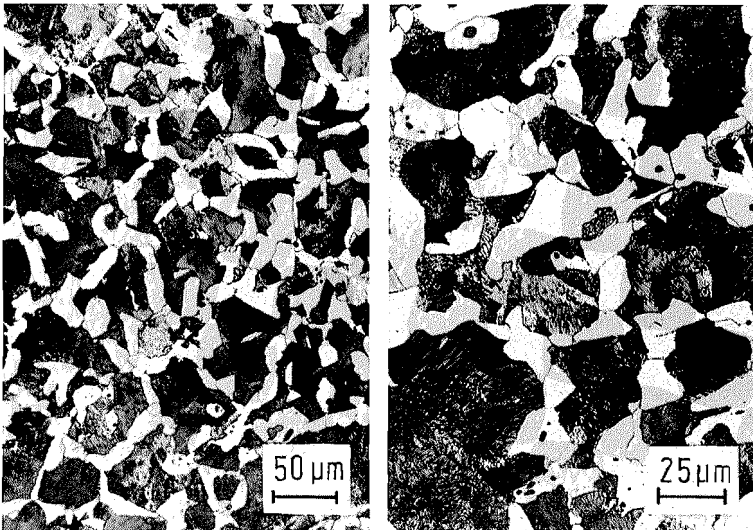


Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffis

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 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“.

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

Spanungsdicke zwischen 10 und 50 μm
Spanwinkel 0°
Bildfeldbreite etwa 400 μm
Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min
48 B/s

Unter relativ gleichmäßiger Scherung entsteht ein Fließspan mit leicht zerklüfteter Spanoberseite. Die Spanunterseite ist infolge der sekundären Scherung als Fließschicht ausgebildet, die gelegentlich durch kurzzeitiges Anhaften von Schneidenansätzen an der Schneidkante unterbrochen ist. Aufbauschneiden entstehen unregelmäßig, sind relativ klein und wenig stabil.

Schnittgeschwindigkeit 0,05 m/min
270 B/s

An einer kleinen, in Form und Größe beständigen Aufbauschneide entsteht ein unregelmäßiger Fließspan ohne eine ausgeprägte Fließschicht in der Spanunterseite. Durch den schlanken, spitzen Aufbauschneidkeil erfolgt die Scherung unter einem positiven Spanwinkel mit einer entsprechend geringeren Werkstoffverformung.

Schnittgeschwindigkeit 0,25 m/min
1600 B/s

Die unregelmäßige Fließspanbildung ohne Aufbauschneide zeigt Ansätze zum Scherspan. Entsprechend unregelmäßig sind die Spanunterseite mit gelegentlicher Fließschicht und die Spanoberseite mit z.T. tiefen Scherrissen.

Schnittgeschwindigkeit 1,25 m/min
6900 B/s

An der hier vorhandenen kleinen und stabilen Aufbauschneide entsteht ein Fließspan, dessen Hell-Dunkel-Struktur auf eine infolge des positiven Aufbauschneiden-Spanwinkels geringere Werkstoffbeanspruchung in der primären und sekundären Scherzone hindeutet.

Schnittgeschwindigkeit 2,5 m/min
6300 B/s

An der Schneidkante hat sich eine kleine Aufbauschneide festgesetzt. Kurzzeitig anhaftende Werkstoffteilchen wandern mit dem Werkstück ab und ergeben so eine schuppige Schnittfläche. Besonders ausgeprägt ist die sekundäre Scherung mit einer Fließschichtbildung in der Spanunterseite.

Schnittgeschwindigkeit 5 m/min

7000 B/s

Bei dieser Schnittgeschwindigkeit bestimmt eine relativ große, sehr stabile Aufbauschneide die Spanbildung. Sie erscheint im Profil ähnlich scharf markiert wie der Schneidkeil und geht nahtlos in diesen über. Entsprechend klein ist der Bereich wechselnder Fließvorgänge an der Aufbauschneidkante, bei denen sich kleinste Werkstoffteilchen kurzzeitig festsetzen und mit dem Werkstück oder Span wieder abwandern. Die für die Spanentstehung günstige Schneidkeilgeometrie der Aufbauschneide sorgt für eine relativ kontinuierliche Spanbildung ohne eine ausgeprägte sekundäre Scherung mit Fließschichtbildung.

Schnittgeschwindigkeit 10 m/min

7000 B/s

Ähnlich wie bei 5 m/min ist die Aufbauschneide sehr stabil und scharf markiert. Sie wächst jedoch mit einem an der Spitze zunehmend schlankeren Keilprofil verstärkt in Schnittrichtung, so daß auch die wechselnden Fließvorgänge zunehmen und sich auf die Werkstückoberfläche und die Spanunterseite auswirken.

Schnittgeschwindigkeit 20 m/min

6300 B/s

Die Aufbauschneide ist hier noch größer und schlanker. Sie hat einen stabilen Kern, an dessen Spitze sich Werkstoffteilchen kurzzeitig zu äußerst schmalen Keilen aufbauen. Aufgrund der geringen Stabilität werden diese Bereiche der Aufbauschneide bald zusammengedrückt und wandern als Schuppen an der Werkstückoberfläche oder Spanunterseite ab. Dabei scheint der Span nach seiner Trennung vom Werkstück an der Aufbauschneidenspitze streckenweise ohne Kontakt abzulaufen und sich erst wieder in einem größeren Abstand von der Schneidkante auf der Spanfläche abzustützen.

Schnittgeschwindigkeit 30 m/min

6400 B/s

Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit nimmt die Größe (Höhe und Länge) der Aufbauschneide weiter zu. Der zur Spitze immer schmaler werdende Keil wächst teilweise weit über die Werkzeugschneide hinaus, so daß sich ein Freifächenspalt einstellt, der die Spanungsdicke entsprechend vergrößert. Der Bereich der Aufbauschneide mit wechselndem Bildungsmechanismus auf einem stabilen Kern nimmt ebenfalls zu.

Spanentstehung und -ablauf sowie die Schnittflächenbildung sind gleichermaßen unregelmäßigen Veränderungen unterworfen. Die Empfindlichkeit einer derart schlanken, steilen Aufbauschneide wird durch Schwankungen infolge wechselnder Belastung deutlich.

Eine zweite Einstellung bei dieser Schnittgeschwindigkeit zeigt eine etwa gleich große, aber stabilere Aufbauschneide mit einem stumpferen Keilprofil. Der Wechsel im Bildungsvorgang an der Spitze ist weniger stark ausgeprägt, entsprechend gleichmäßiger ist auch die Spanentstehung.

Schnittgeschwindigkeit 60 m/min

5600 B/s

Bei den hier vorliegenden Schnittbedingungen beherrscht das Wechselgeschehen der Aufbauschneidenbildung in besonderer Weise die Spanbildung. Der Übergangsbereich von der Aufbauschneide zum Span und Werkstück ist durch intensive plastische Verformungen gekennzeichnet und dabei so groß, daß ein fester, stabiler Aufbauschneidenkern kaum noch abzugrenzen ist. Dieser Bereich, in dem der Werkstoff fließt, verändert seine Lage, Größe und Form in so schneller und unregelmäßiger Folge, daß hier die mögliche negative Wirkung einer Aufbauschneidenbildung besonders deutlich wird. Die Spanbildung, die Geschwindigkeitsverhältnisse, der Freiflächenspalt und damit die Spannungsdicke sowie die Oberflächengestalt und -struktur wechseln ständig, so daß das Zerspanergebnis nicht mehr kalkulierbar ist.

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, 104 m, 9 ½ min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden in den Jahren 1968 bis 1972. 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, J. THIENEL.

Inhalt des Films

Der Film zeigt den Spanentstehungsvorgang an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus dem unlegierten Werkzeugstahl C 45 W 3. In dem perlitisch-ferritischen Gefüge sind die verschiedenen Erscheinungsformen der Spanentstehung und die einzelnen Verformungsvorgänge besonders gut zu beobachten. Die zentrale Bedeutung der Einflußgröße „Schnittgeschwindigkeit“ auf den Zerspanvorgang zeigt sich insbesondere bei der Aufbauschneidenbildung, die im Schnittgeschwindigkeitsbereich von 5 bis 60 m/min mit stark zunehmender Größe die Zerspanverhältnisse am Schneidkeil grundlegend verändert. Form und Größe sowie der Bildungsmechanismus der Aufbauschneiden erscheinen vielfältig und nach bisher üblicher Vorstellung außergewöhnlich.

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 central significance to the cutting process of the factor "cutting speed" becomes particularly evident in the build-up of material on the cutting edge which increases more and more at cutting speeds in the range of 5 to 60 metres per minute and in consequence fundamentally alters the cutting conditions at the cutting edge. The shape, size, and also the formation mechanism of such build-up are varied and unusual according to hitherto customary views.

Résumé du Film

Le film montre le processus de formation de copeaux sur un échantillon de pièces usinées poli et corrodé, en acier pour outils C 45 W 3. La structure perlite-ferritique permet d'observer très bien les différentes manifestations de la formation de copeaux et les phénomènes de déformation successifs. L'importance primordiale du facteur "vitesse de coupe" que influence le processus d'enlèvement des copeaux, apparaît notamment dans la formation de crêtes structurales qui, pour des vitesses de coupe variant entre 5 et 60 m/min, modifie fondamentalement, à mesure que la taille augmente, les conditions d'enlèvement des copeaux dans la pointe de cisailage. La forme et la taille, de même que le mécanisme de formation des crêtes structurales paraissent variés et inhabituels comparés aux conceptions connues jusqu'ici.