

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 1994/1975

**Zerspanen von Gußeisen GG 20
Schnittvorgang im Feingefüge
Variation der Schneidengeometrie**

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 1994

Zerspanen von Gußeisen GG 20 Schnittvorgang im Feingefüge Variation der Schneidengeometrie

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. 17.

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

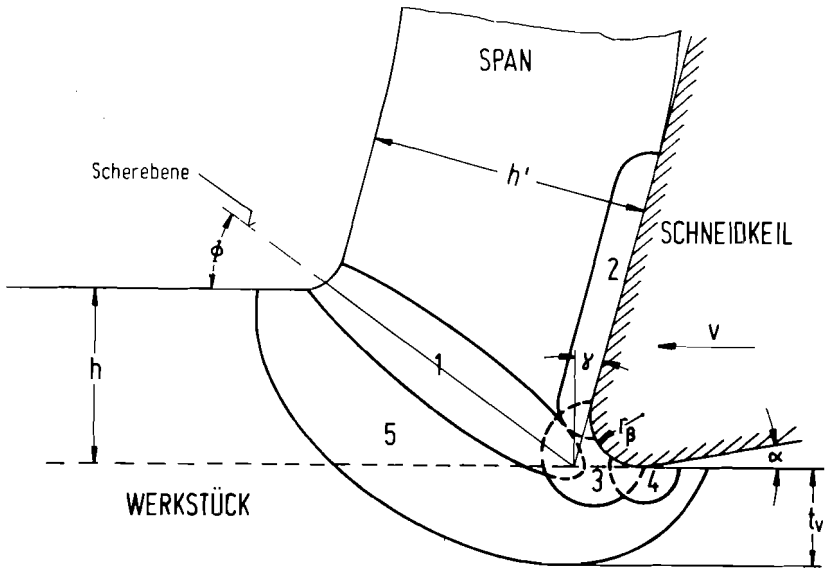


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanantstehung

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 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 Rißbildung in der primären Scherzone; Scherspäne entstehen durch plastische Verformung bis zum Werkstoffversagen mit anschließender Rißbildung, 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.

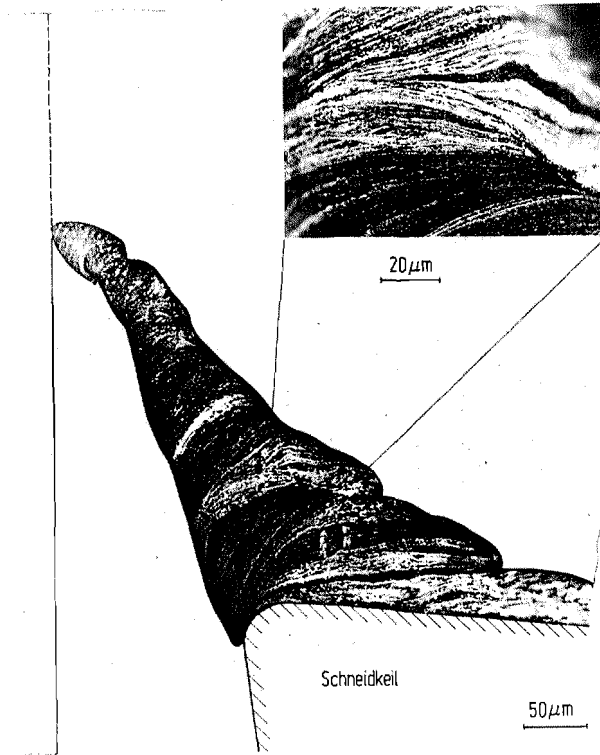


Abb. 3. Form und Struktur einer Aufbauschneide

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.

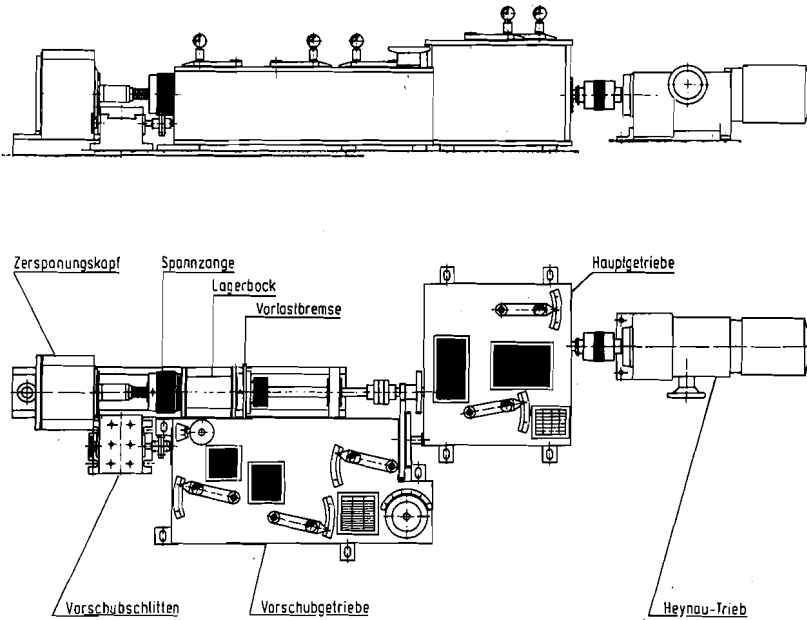


Abb. 4. Spezial-Drehmaschine; Anordnung der Baugruppen

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

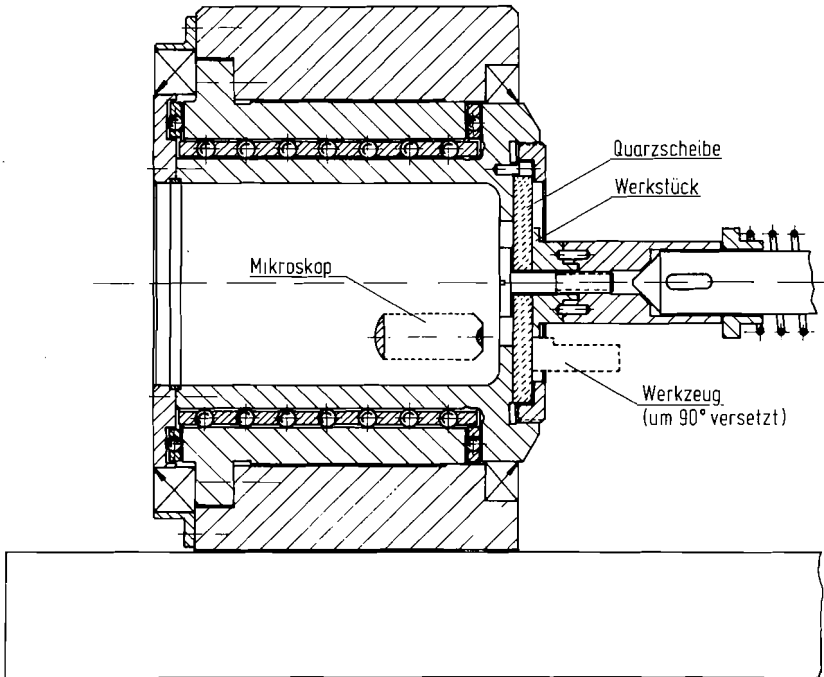


Abb. 5. Zerspankopf mit der Wirkstelle

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 Schärftiefe 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.

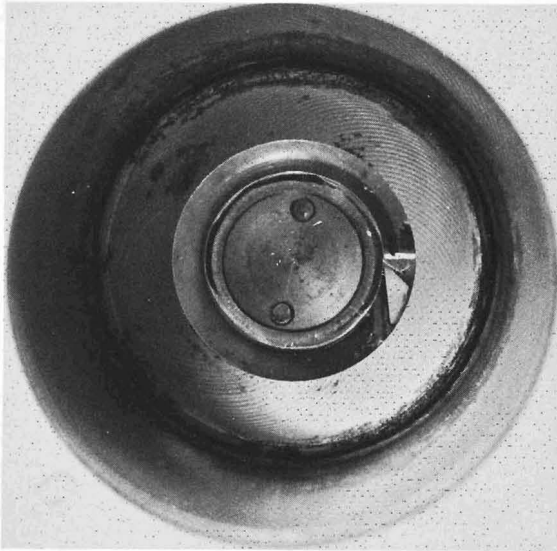


Abb. 6. Ringfenster im Zerspankopf

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.

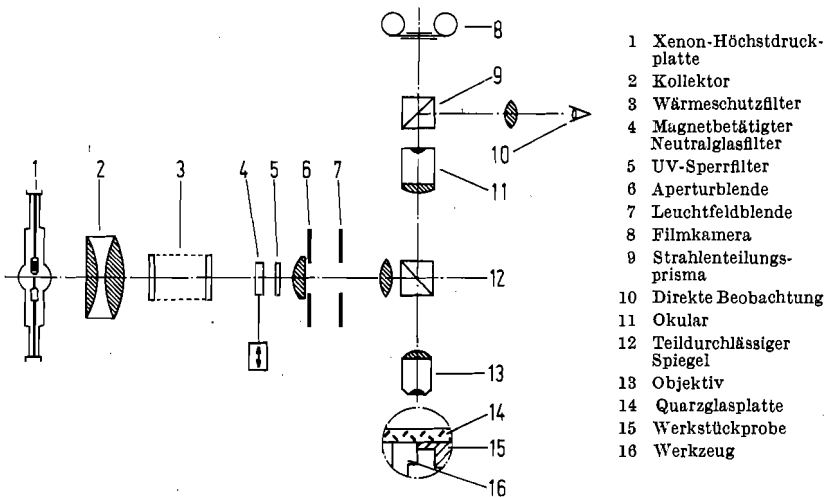


Abb. 7. Prinzip der optischen Versuchseinrichtung

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

Das Gußeisen GG 20 zeigt das in Abb. 8 dargestellte, rein perlitische Gefüge, das von langen Graphitlamellen durchzogen ist. Diese Graphitlamellen unterbrechen den metallischen Zusammenhang und beeinflussen entscheidend die Eigenschaften dieses Gußwerkstoffes.

GG 20 nach DIN 1691
 Härte HV 30 1960 N/mm²

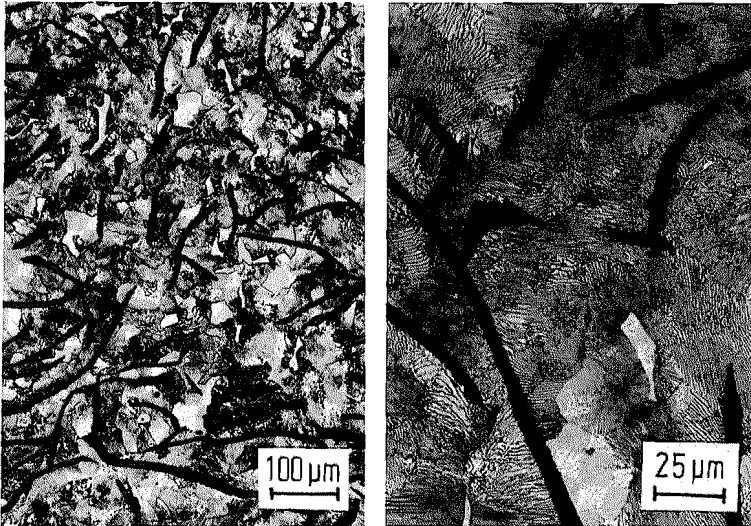


Abb. 8. Gefüge des Versuchswerkstoffes

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, 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 rauh 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.

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

Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min

48 B/s

Bildfeldbreite etwa 400 μm

Spanwinkel 15°

Probe geätzt

Spanwinkel 0°

Probe geätzt

Probe ätzpoliert

Spanwinkel -20°

Probe ätzpoliert

Bei der Zerspanung dieses lamellaren Gußeisens entstehen typische Reißspäne. Infolge der Werkstoffbeanspruchung durch den Schneidkeil tritt an den Graphitlamellen die Trennung ein, bevor es zu nennenswert plastischen Verformungen der Perlitkristallite kommt. Aufgrund der ungeordneten Verteilung der eingelagerten Graphitlamellen entstehen hinsichtlich Form und Größe regellose Spanstücke. Der Trennvorgang eines einzelnen Reißspanelements erfolgt entlang einer Trennfläche, die sich nach dem geringsten Trennwiderstand an den in der Werkstückrandschicht liegenden Graphitlamellen orientiert. Dabei werden auch unterhalb der idealen Schnittfläche liegende Gefügeteile herausgebrochen, so daß eine stark zerklüftete Schnittfläche entsteht. Teilweise wird die Werkstückrandschicht infolge wechselnder Beanspruchung auch nur „aufgelockert“. Die besonderen Beanspruchungsverhältnisse an der Schneidkante bewirken hier plastische Verformungen, die in unregelmäßiger Folge kurzzeitig Schneidenansätze entstehen lassen. Der Graphit wird aus den Lamellen herausgedrückt, breitet sich an der Glasplatte aus und wirkt als Schmiermittel, so daß auf das üblicherweise verwendete Immersionsöl verzichtet wurde.

Während an der geätzten Werkstückprobe das perlitische Gefüge besser zu erkennen ist, zeigt das ätzpolierte Gefüge besonders deutlich und kontrastreich die eingelagerten Graphitlamellen in der perlitischen Grundmasse.

Der Spanwinkel beeinflusst entscheidend die Richtung der Zerspankraft und damit die Art der Beanspruchung; d. h. das Verhältnis von Stauch- und Keilwirkung, die das Werkzeug auf die Spanentstehungszone ausübt, hängt wesentlich vom Spanwinkel ab. Ein positiver Spanwinkel erzeugt eine größere Keilwirkung, so daß bei der Werkstofftrennung normal zur Schnitttrichtung Zugspannungen auftreten können, während ein Spanwinkel von 0° oder ein negativer Spanwinkel eine stärkere Stauchung des Werkstoffs in der Spanentstehungszone und damit eine zunehmende Druckbeanspruchung in der Trennungszone bewirken. Die Span-

entstehung im Gußeisen bei verschiedenen Spanwinkeln zeigt diesen Zusammenhang von Stauch- und Keilwirkung besonders deutlich. Bei 15° Spanwinkel werden die einzelnen Reißspanelemente z. T. tief aus der Werkstückrandschicht herausgebrochen. Dabei lösen sich dann auch einzelne Gefügeelemente in der Randzone, ohne als Span abzuwandern, so daß die Schnittfläche aufgelockert und rissig erscheint. Mit kleineren und negativen Spanwinkeln nimmt dieser Effekt ab. Die zunehmende Druckbeanspruchung bewirkt gelegentlich eine sekundäre Scherung an der Freifläche, durch die die Schnittfläche mit einer Fließschicht in begrenzten Bereichen belegt wird.

*Spanwinkel 20°
Schneidenradius $60\ \mu\text{m}$
Anschnittvorgang*

Da die Schneidkantenrundung bevorzugt einen negativen Spanwinkelbereich darstellt, sind die Spanbildungsverhältnisse bei diesem relativ großen Schneidenradius ähnlich wie bei dem Spanwinkel -20° . Die ausgeprägte Druckbeanspruchung vor der Schneide im Bereich der Werkstofftrennung begünstigt die plastische Verformung, so daß sich, allerdings mit der für dieses Gußeisen typischen Unregelmäßigkeit, kurzzeitig Aufbauschneiden bilden, Fließvorgänge andeuten und bei kleineren Spannungsdicken Ansätze zur Scherspannbildung ergeben. Insbesondere der Anschnittvorgang mit kleinsten Spannungsdicken zeigt an der Schneidkante im Übergang zur Freifläche stahlähnliche Zerspanverhalten. Dabei bilden sich an der Schnittfläche mit nur kleinen Unterbrechungen Fließschichten, die die beim Gußeisen hinsichtlich der Gleiteigenschaften gewünschte Oberflächenbeschaffenheit verhindern.

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, 93 m, 8 1/2 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 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 bzw. ätzpolierten Werkstückprobe aus dem lamellaren Gußeisen GG 20. Für dieses von Graphitlamellen durchzogene perlitische Gefüge ist die Reißspanbildung typisch. Kleinere und negative Spanwinkel sowie zunehmende Schneidenradien erhöhen die Druckbeanspruchung und damit die plastische Werkstoffverformung in der Spanwurzel, insbesondere in den Werkzeugkontaktzonen. Daraus ergibt sich ein zunehmend stahlähnliches Zerspanverhalten, das sich auch auf die zerspannte Werkstückoberfläche entsprechend auswirkt.

Summary of the Film

The film shows the process of chip formation on a polished and etched or etch-polished specimen of GG 20 lamellar cast iron. The formation of tear chips is typical of this material whose perlitic structure is shot through with graphite lamellae. Smaller and negative rake angles as well as increasing radii at the cutting edge increase the compressive strain and hence the plastic deformation of the material in the chip root, especially in the tool contact zones. This results in an increasingly steel-like cutting behaviour which has a corresponding effect on the cut surface.

Résumé du Film

Le film montre le processus de formation de copeaux sur un échantillon de pièce usinée poli et corrodé, c.a.d. poli par corrosion, en fonte lamellaire GG 20. La formation de copeaux déchirés est caractéristique de cette structure perlitique sillonnée de lamelles de graphite. Plus les angles de dépouille deviennent petits et négatifs, et les diamètres de lames grands, plus le travail à la compression et ainsi déformation plastique du matériau augmentent, notamment dans les zones de contact de l'outil. Il en résulte un comportement à l'enlèvement de copeaux qui rappelle de plus en plus celui de l'acier, qui se répercute sur la surface usinée de la pièce.