

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 1528/1971

Zerspanen von Stahl 9 S 20
Schnittvorgang im Feingefüge
Variation der Schnittgeschwindigkeit

Mit 6 Abbildungen

GÖTTINGEN 1971

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Zerspanen von Stahl 9 S 20
Schnittvorgang im Feingefüge
Variation der Schnittgeschwindigkeit¹

G. WARNECKE, Hannover

Allgemeine Vorbemerkungen

Der Zerspanungsvorgang bei metallischen Werkstoffen

Bei allgemeinen und grundlegenden Betrachtungen des Zerspanungsvorganges wählt man zweckmäßigerweise den einfachsten Zerspanungsfall, den Orthogonalschnitt, der folgende Bedingungen erfüllen muß: keine Nebenschneide, Schneidenlänge größer als Spanungsbreite, Einstellwinkel $\alpha = 90^\circ$, Neigungswinkel $\lambda = 0^\circ$. Unter der Voraussetzung, daß die Spanungsdicke im Verhältnis zur Spanungsbreite sehr klein ist, ist es möglich, den Zerspanungsvorgang als ebenes zweiachsiges Problem zu behandeln. (Begriffe und Geometrie des Zerspanungsvorganges sind in DIN 6580 und DIN 6581 genormt.)

Ein in seiner Geometrie definierter Schneidkeil dringt in die Randschicht des Werkstückes ein und verdrängt den in Schnittrichtung vor ihm liegenden Werkstoff. Dabei entsteht der Span durch Scherung in einer bestimmten Zone, die mit der Schnittrichtung den Scherwinkel Φ einschließt. Zur Analyse des Spanbildungsvorganges wird der unter der Einwirkung des Schneidkeils stehende Werkstoffbereich entsprechend Abb. 1 in fünf Wirkzonen eingeteilt (WARNECKE [9]).

1. Die *primäre Scherzone* erstreckt sich von der Schneidkante zur freien Oberfläche und ist die eigentliche Spanentstehungszone.

2. Die *sekundäre Scherzone auf der Spanfläche* entsteht durch Fließen des Werkstoffes an der Spanunterseite. In dieser Fließschicht erfolgt der Geschwindigkeitsausgleich zwischen Span und Spanfläche.

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

3. In der *Zone der Schneidkante* wird der Span vom Werkstück getrennt. Im Vergleich zur theoretisch ideal scharfen Schneide wird bei einem Werkzeug der Übergang von der Span- zur Freifläche immer durch eine angenäherte Zylindermantelfläche mit endlichem Radius gebildet.

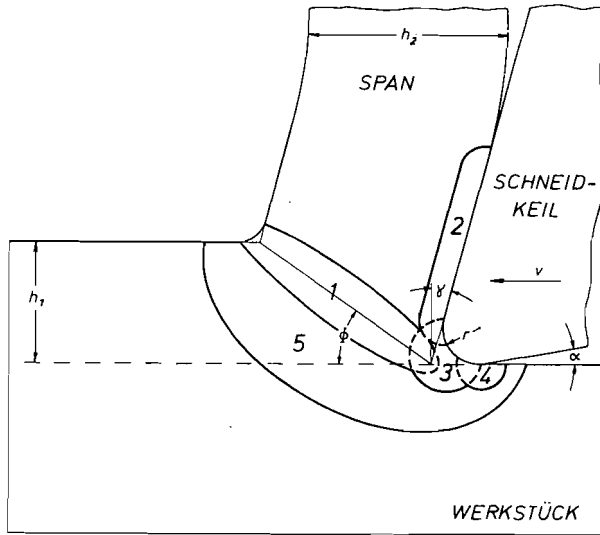


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung
(Erläuterungen im Text)

4. Die *sekundäre Scherzone auf der Freifläche* entsteht durch die elastische Rückfederung des Werkstoffes nach dem Trennvorgang an der Schneidkante.

5. *Verformungsvorlaufzone*. Außerhalb der eigentlichen Scherverformungszonen wirken auf das Werkstück Spannungen, die zwar mit zunehmender Querschnittsfläche im Werkstück geringer werden, aber vor der Spanentstehungszone und in die Tiefe des Werkstückes senkrecht zur Schnitttrichtung plastische und elastische Verformungen verursachen.

Neben diesen Verformungsvorgängen wirken eine Reihe weiterer physikalischer und chemischer Vorgänge zusammen und beeinflussen sich gegenseitig. Gefügeveränderungen durch Verformungen und Umwandlungen im zerspannten Werkstoff, Reibungs-, Adhäsions-, Verschweißungs- und Diffusionsvorgänge sowie chemische Reaktionen spielen bei der Spanentstehung eine große Rolle. Außerdem muß man die große Zahl

veränderlicher Schnittbedingungen und Einflußgrößen berücksichtigen, um das Wesen der Zerspanung und die Erscheinungsformen der Spanbildung zu erfassen und zu beurteilen (DEGNER u. a. [1], VIEREGGE [8]).

Zerspanbarkeit und Spanbildung

Für die Bewertung und Beurteilung von Zerspanungsfällen wurde der Begriff der Zerspanbarkeit geprägt. Da eine einheitliche und umfassende Definition dieses Begriffes und eine entsprechende Zerspanbarkeitskennziffer bis heute fehlen, sind mehrere Maßstäbe notwendig, den Zerspanungsvorgang nach verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten. So wurde von SCHALLBROCH und BETHMANN [7] die Zerspanbarkeit in die vier folgenden Hauptbeurteilungsfaktoren aufgeschlüsselt:

Energie (Kräfte, Temperaturen)

Standzeit (Verschleiß, Temperaturen)

Arbeitsergebnis (Oberflächengüte, Form- und Maßgenauigkeit)

Spanbildung (Spanform, Spanentstehung)

Spanform (Makrogeometrie):

Arbeitstechnik, z. B.

Werkzeugspiel bei Automaten

Spänetransport

Massenfertigung

Belastigung

Spanentstehung (Mikrogeometrie):

Spanarten

Aufbauschneidenbildung

Verformungen

Verformungszonen

Verformungsarten

Verformungsgrad

Verformungsstrukturen

Bei der Spanentstehung handelt es sich um Vorgänge, die von Ort und Zeit abhängen und die sich unter schnellen periodischen oder unregelmäßigen Veränderungen im Mikrobereich abspielen. Damit wird die Bedeutung der mikrogeometrischen Betrachtungsweise bei der Beurteilung der Spanentstehung offensichtlich (WIEBACH [10]).

Spanarten und Aufbauschneidenbildung

Auf Grund einer unterschiedlichen Zerspanungsmechanik entstehen die verschiedenen Erscheinungsformen der Spanbildung. Die Spanarten werden heute meistens in Fließ-, Scher- und Reiß- oder Bröckelspäne bzw. in kontinuierliche und diskontinuierliche Späne unterteilt. Die Übergänge zwischen den einzelnen Spanarten sind fließend, und ihre Entstehung hängt im wesentlichen von den Werkstoffeigenschaften und den Zerspanungsbedingungen ab. Während Fließ- und Scherspäne bei der Zerspanung duktiler Werkstoffe durch plastische Scherverformung entstehen, sind Reiß- oder Bröckelspäne das Ergebnis bei der Zerspanung spröder Werkstoffe, z. B. Grauguß, indem unregelmäßige Spanstücke nahezu verformungslos aus dem Gefüge herausgerissen werden.

Bei der Fließspanbildung kann es unter bestimmten Bedingungen zu Werkstoffablagerungen an der Schneidkante und auf der Spanfläche kommen, die als Aufbauschneide die Schneidengeometrie verändern und den Zerspanungsvorgang beeinflussen. Zwischen Werkzeug und Span wirken Adhäsionskräfte, und in der sekundären Scherzone ist der Werkstoff größten Verformungen, die eine entsprechende Verfestigung bewirken, unterworfen, so daß sich der Schervorgang in Werkstoffschichten geringerer Verfestigung verlagert und die höher verfestigten Werkstoffteilchen auf der Spanfläche stehenbleiben. So wächst die Aufbauschneide keilförmig in Schnittrichtung und übernimmt die Funktion der Schneide, bis sie auf Grund der wirkenden Kräfte instabil wird, mit dem Span oder dem Werkstück abwandert und sich von neuem bildet. Erreichen die Zerspanungstemperaturen den Rekristallisationsbereich, ist eine Verfestigung nicht mehr möglich, und es bilden sich keine Aufbauschneiden (GAPPISCH und SCHILLING [3]).

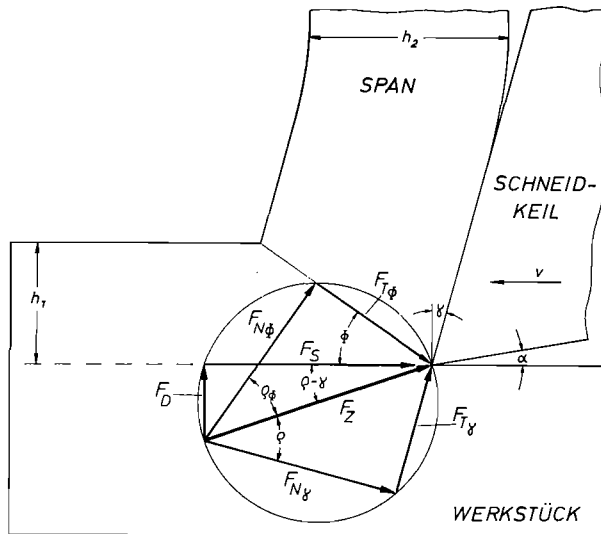


Abb. 2. Kräftegeometrie beim Orthogonalschnitt

F_Z Zerspankraft, F_S Schnittkraft, F_D Drangkraft, $F_{N\gamma}$ Normalkraft auf der Spanfläche, $F_{T\gamma}$ Tangentialkraft auf der Spanfläche, $F_{N\phi}$ Normalkraft in der Scherebene, $F_{T\phi}$ Tangentialkraft in der Scherebene, ϕ Scherwinkel, γ Spanwinkel, ρ Reibungswinkel auf der Spanfläche, ρ_ϕ innerer Reibungswinkel in der Scherebene

Zerspanungsmodelle und Scherwinkeltheorien

Zerspanungsmechanische Betrachtungen gehen häufig von bestimmten Modellvorstellungen des Zerspanungsvorganges aus, auf deren Grundlage theoretische Lösungen des Zerspanungsproblems entwickelt werden (DOHMEN [2], KHARE [5], ZOREV [12]). Die primäre Verformungsart aller Fließspanmodelle erfolgt durch Scherung, so daß der Scherwinkel Φ (Abb. 1) eine zentrale Bedeutung erhält. Nach der Form des Schergebietes wird zwischen Scherebenen- und Scherzonenmodellen und -theorien unterschieden, wobei entweder eine Ebene bzw. leicht gekrümmte Fläche oder eine Zone endlicher Dicke angenommen wird. Die in großer Zahl entwickelten Scherwinkelgleichungen stellen im allgemeinen Winkelbeziehungen zwischen der Kräftegeometrie auf der Spanfläche und in der Scherzone mit dem Scherwinkel Φ , dem Spanwinkel γ und dem Spanflächen-Reibungswinkel ϱ dar (Abb. 2). Durch eine ganze Reihe von Bedingungen, Vereinfachungen und Einschränkungen bei allen Modellen und Theorien ist eine umfassende Lösung bisher nicht gefunden worden, so daß die Scherwinkelbeziehungen nur für verschiedene Einzelzerspanungsfälle Gültigkeit besitzen.

Verformungsgeometrie

Für die Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei der Spanentstehung ist eine genaue Kenntnis des Verformungsvorganges in der primären Scherzone notwendig.

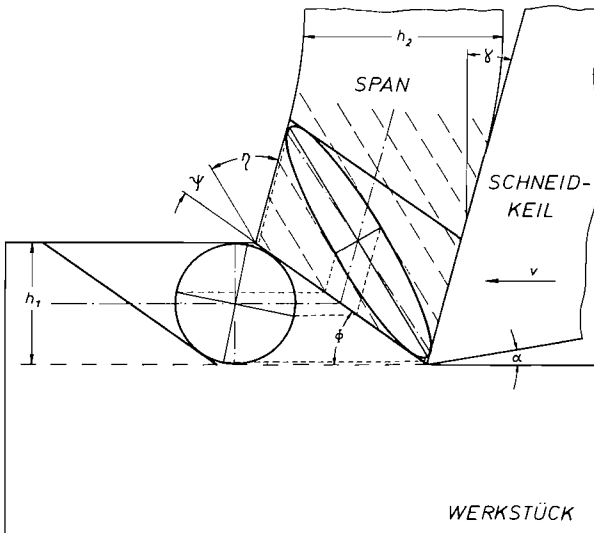


Abb. 3. Verformungsmodell

h_1 Spannungsdicke, h_2 Spandicke, α Freiwinkel, γ Spanwinkel, Φ Scherwinkel, Ψ Strukturwinkel, η Strukturwinkel

Eine relativ leicht bestimmbare Verformungsgröße stellt die Spanstauchung als Verhältnis der Span- zur Spannungsdicke $\lambda = \frac{h_2}{h_1}$ dar. Sie hat allerdings nur als Vergleichswert bei Zerspanungsuntersuchungen eine gewisse Bedeutung.

Um die Verhältnisse bei der Verformung eines einzelnen Kristalls im Werkstoffgefüge zu klären, wurde das Modell in Abb. 3 entwickelt. Danach durchläuft ein Gefügeelement mit kreisförmigem Querschnitt eine Scherebene und verformt sich zu einer Ellipse im Span. Die große Achse zeigt die Strukturrichtung im Span an, die mit der Scherebene den Strukturwinkel ψ und mit der Spanfläche den Strukturwinkel η bildet.

Aus der Geometrie in Abb. 3 ergeben sich folgende Beziehungen

$$\cot \Phi = \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma}$$

$$\Phi + \psi + \eta - \gamma = 90^\circ$$

$$2 \cot 2\psi = \cot \Phi + \tan(\Phi - \gamma)$$

$$2 \cot 2\psi = \frac{1}{\cos \gamma} \left[\left(\lambda + \frac{1}{\lambda} \right) - 2 \sin \gamma \right]$$

Diese Zusammenhänge und die daraus bestimmbaren Verformungsgrade hat KÖHLER [6] untersucht.

Variation der Schnittgeschwindigkeit

Die Zerspanungsleistung, der Verschleiß und die Standzeit, die Oberflächengüte und die Spanbildung hängen in besonderem Maße von der Schnittgeschwindigkeit ab, so daß ihr mehr als anderen Schnittbedingungen eine große Bedeutung zukommt. Die Schnittgeschwindigkeit wirkt dabei auf alle Werkstoffzonen der Spanentstehung nicht nur als direkte Einflußgröße, sondern vor allem auch indirekt über viele andere Faktoren. Da sich der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit über bestimmte Faktoren verstärkt und über andere vermindert, kann ihre Wirkung auf einzelne Zerspanungsgrößen und -vorgänge sehr unterschiedlich sein. An Hand einer Blockdarstellung zeigt und kommentiert ZOREV [12] ein vereinfachtes Schema der grundlegenden Einflußfaktoren beim Orthogonalschnitt. Die Schnittgeschwindigkeit ist in diesem Schema mit direkten Verbindungen zur Spangeschwindigkeit, Temperatur in der Scherebene und zum Scherwinkel eingezeichnet und wirkt über diese Größen auf eine Reihe anderer Faktoren.

Das Zusammenwirken der Schnittgeschwindigkeit und der von ihr abhängigen Temperaturen in der Spanentstehungszone beeinflusst das Spannungs-Dehnungs-Verhalten und damit die Erscheinungsformen der

Spanbildung. Der Film zeigt den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit durch Veränderung der Spanarten, der Aufbauschneidenbildung, der Fließschichten in den sekundären Scherzonen, der Spankrümmung u. a.

Zur Entstehung des Films

Da sich die Vorgänge bei der Spanentstehung im Mikrobereich des Werkstoffgefüges, abhängig von Ort und Zeit, abspielen, ist eine räumliche und je nach Schnittgeschwindigkeit auch eine zeitliche Dehnung notwendig, um die Vorgänge für das menschliche Auge sichtbar zu machen, was praktisch nur durch eine Kombination von Mikroskopier- und Filmtechnik möglich ist.

Die Probleme mikrokineematografischer Zerspanungsstudien wurden von WIEBACH und HUMMEL mit einer ersten diesem Zweck angepaßten Versuchseinrichtung untersucht [10], [11], [13]. Nach diesen Erfahrungen wurde ein neuer Versuchsstand entwickelt und gebaut, der die Voraussetzungen für eine mikrokineematografische Erfassung der Spanentstehung optimal erfüllt¹. Abb. 4 zeigt die Anordnung der einzelnen Baugruppen der Versuchsmaschine, die für Schnittgeschwindigkeiten von 0,01 bis 60 m/min und für einen Vorschubbereich von 2 bis 125 μm ausgelegt wurde.

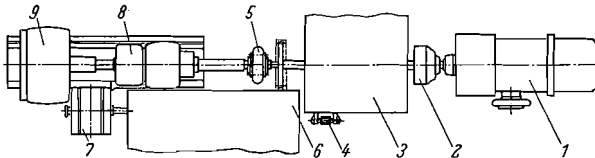


Abb. 4. Schema der Versuchseinrichtung

- 1 H-Trieb, 2 Kupplung, 3 Hauptgetriebe, 4 Vorlastbremse, 5 Kupplung, 6 Vorschubgetriebe, 7 Vorschubschlitten, 8 Spannzange, 9 Zerspanungskopf

Die Versuchsmethode beruht darauf, daß eine polierte und geätzte scheibenförmige Werkstückprobe (etwa 30 mm \varnothing) mit einer planpolierten Quarzglasscheibe drehbar verspannt wird, während das Werkzeug, fest auf dem Vorschubschlitten an die Glasplatte gedrückt, die Probe im Orthogonalschnitt radial einsticht. Die Glasplatte verhindert ein seitliches Ausweichen des Werkstoffes und ermöglicht so die Beobachtung in einer Ebene. Das Prinzip dieser Methode wird in der Schnittdarstellung (Abb. 5) des Zerspanungskopfes als dem wesentlichsten Bau-

¹ Die Probleme beim Bau dieser Versuchseinrichtung wurden von der Zentralwerkstatt Göttingen GmbH vorbildlich gelöst.

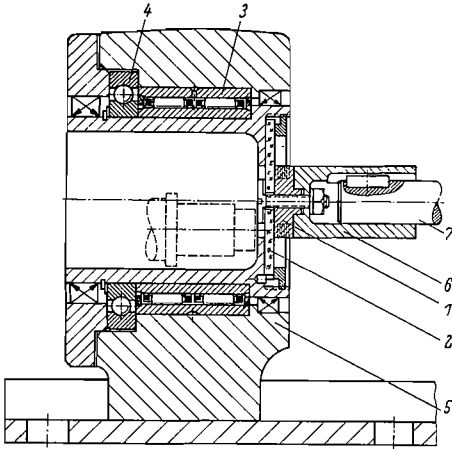


Abb. 5.
Zerspanungskopf (Wirkstelle
mit rotierender Glasplatte)

1 Prüfstück, 2 Glasplatte,
3 Radiallager, 4 Axiallager,
5 Lagerbock, 6 Prüfstück-
träger, 7 Antriebswelle

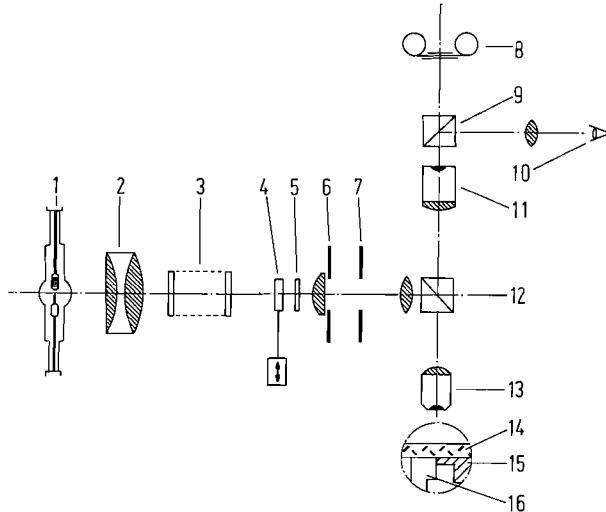


Abb. 6. Schematischer Aufbau der Mikroskopier- und
Beleuchtungseinrichtung

1 Xenon-Höchstdrucklampe, 2 Kollektor, 3 Wärme-
schutzfilter, 4 Magnetbetätigter Neutralglasfilter, 5 UV-
Sperrfilter, 6 Aperturblende, 7 Leuchtfeldblende, 8 Film-
kamera, 9 Strahlenteilungsprisma, 10 Direkte Beobach-
tung, 11 Okular, 12 Teildurchlässiger Spiegel, 13 Objektiv,
14 Quarzglasscheibe, 15 Werkstückprobe, 16 Werkzeug

teil dieser Versuchseinrichtung deutlich. Die Lageranordnung mit Nadel- und Rillenkugellager hält die Taumelfehler innerhalb der Fokustiefe des Mikroskopes.

Der optische Teil des Versuchsstandes besteht aus einem Mikroskop mit einem Strahlenteilungskörper, um den Vorgang gleichzeitig filmen und direkt beobachten zu können, sowie einer Beleuchtungseinrichtung mit einem Opak-Illuminator (Abb. 6). Bei der gewählten Objektfeldbreite von etwa 400 μm und einer Schnittgeschwindigkeit von 0,01 m/min wird eine 16-mm-Schmalfilmkamera (Arriflex) in Verbindung mit einer Hochleistungs-Mikroskopierleuchte eingesetzt. Höhere Schnittgeschwindigkeiten erfordern den Einsatz einer Hochfrequenz-Kamera (Fastax) und dementsprechend einer Xenon-Höchstdrucklampe mit 2,5 kW im Dauerbetrieb, 5 kW für 4 s und 10 kW für 2 s kurzzeitige Überlastung. Eine optimale Leuchtdichte wurde mit einem Spezialkollektor nach Berechnungen von HEYSE [4] erreicht. Wärmeschutzgläser, UV-Sperrfilter, Apertur- und Leuchtfeldblende sind notwendige Voraussetzungen für eine einwandfreie Beleuchtung im Aufricht-Hellfeld.

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 geläppt, damit bei der vorliegenden Vergrößerung das Werkzeug ideal scharf, ohne Schleifriefen und Kantenabrüche erscheint. Der Gleitvorgang zwischen Glasplatte und Schneidkeil ist durch auftretende Glassprünge und Mikrorisse besonders kritisch, so daß mit einem Immersionsöl als Gleitmittel geschmiert wird¹.

Technologische Angaben

Automatenstahl 9 S 20, weichgeglüht, Werkstoff-Nr. 1.0711

Chemische Zusammensetzung: C	$\leq 0,12\%$
(nach DIN 1651)	
Mn	0,70%
P	0,07%
S	0,24%

Härte: HV 20 = 110 kp/mm²

Zugfestigkeit (umgerechnet nach DIN 50150) $\sigma_B = 39 \text{ kp/mm}^2$

¹ Herrn E. FRIE (IWF) sei für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Versuchsdurchführung gedankt.

Filmbeschreibung¹

Spannungsdicke zwischen 10 und 60 μm

Spanwinkel 0°

Bildfeldbreite etwa 400 μm

Der Film zeigt den ebenen Zerspannungsvorgang in der Ansicht senkrecht zur Hauptschneide. Da der Schneidkeil, begrenzt durch Span- und Freiflächenkante, an der Quarzscheibe gleitet, ist es nicht ganz zu vermeiden, daß sich kleinste Werkstoffteilchen und Quarzsplitter zwischen Schneidkeil und Quarzplatte schieben und als hauchdünne Schicht an der Keilfläche hängenbleiben bzw. Riefen erzeugen. Durch die Zugabe von Immersionsöl können, besonders bei größeren Schnittgeschwindigkeiten, im Schmierfilm Schlieren und Luftbläschen auftreten. Diese verfahrensbedingten Mängel wirken sich gar nicht oder nur geringfügig auf die Qualität der Ergebnisse aus.

Das Gefüge besteht zum überwiegenden Teil aus Ferrit mit Mangansulfideinschlüssen. Die mittlere Korngröße kann mit etwa 40 bis 50 μm angegeben werden und liegt damit im Bereich der veränderten Spannungsdicken.

Durch plastische Verformungen ändern sich die Reflexionsverhältnisse, so daß man aus den Veränderungen der Helligkeit ganz allgemein auf Verformungen im Werkstoffgefüge schließen kann. Dabei liegt die Vermutung nahe, daß bei Druckspannungen die entsprechenden Werkstoffbereiche gegen die Quarzplatte gepreßt werden, das Licht besser reflektieren und durch helle Zonen sichtbar werden, während bei Zugspannungen die Oberfläche aufgeraut wird, so daß weniger oder kein Licht reflektiert wird. Bei dem vorliegenden zweiachsigen Spannungszustand, der durch zwei Normal- und eine Schubspannungsgröße gekennzeichnet ist, sind derartige Rückschlüsse rein qualitativ und nur als grobe Näherung zu betrachten. Neben dem Schervorgang in der Spanwurzel werden auch die Verformungen im Bereich 5 nach Abb. 1 sichtbar. Hierbei fällt besonders auf, daß diese Verformungen vom eigentlichen Schergebiet ausgehen und sich im einzelnen Kristall z. T. sprungartig fortpflanzen. Beim „Einschießen“ dieser Verformungen entsteht der Eindruck, als würden manchmal im Kristall Gleitbänder sichtbar. Die bleibende Verformung unter der Schnittfläche im Werkstück kann als sichtbare Verformungstiefe erfaßt werden.

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

Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min

48 B/s

1. Bei einer Spanungsdicke von etwa $10\ \mu\text{m}$ verläuft die Spanbildung in der durch den vorangegangenen Schnitt vorverformten Oberflächenschicht. Dabei entsteht ein zusammenhängender, aber diskontinuierlicher Span, der eine zerklüftete Oberfläche und eine glatte Spanunterseite mit einer deutlichen Fließschicht aufweist. Eine kaum wahrnehmbare Aufbauschneide begünstigt den Spanablauf. Sie übernimmt die Funktion der Werkzeugschneide und schert die einzelnen Kristalle glatt ab. Einzelheiten der Spanentstehung sind nur selten zu beobachten. Bemerkenswert ist die Fließschichtbildung, die einen Einfluß auf die Spankrümmung zu haben scheint.

2. Vergleichend zeigt die zweite Aufnahme bei einer Spanungsdicke von etwa $60\ \mu\text{m}$ in eindrucksvoller Weise Einzelheiten der Kristallverformung bei der Spanentstehung. Die eigentliche Scherverformung in der Spanungsdickenschicht setzt an der Werkstückoberfläche ein und verlagert sich mit fortschreitendem Zerspanungsvorgang in tiefer gelegene Schichten. Dabei wird deutlich, daß die Scherrichtung nicht mit dem oben definierten Scherwinkel übereinstimmt. Die Grenze der Scherzone zum Werkstück verläuft von der Schneidenspitze zunächst in Schnittrichtung und knickt dann in Scherrichtung zum Oberflächenübergangspunkt Werkstück-Span ab. Unmittelbar an der Schneidenspitze erscheint eine dunkle Zone, die auf Zugspannungen hindeutet. Diese Zugspannungen ergeben sich aus dem Trennvorgang an der scharfen Schneide, die die Kristalle ohne sichtbare Verformung abschert. Die Spanoberfläche erscheint als unregelmäßig ausgebildete Kontur und ist das Ergebnis des inhomogenen Verformungs- und Spannungszustandes eines kristallinen Werkstoffes. Durch die starke Verformung erscheinen die einzelnen Kristalle im Span als langgestreckte, dünne Lamellen, die dem Span eine bestimmte Struktur geben. Infolge der sekundären Scherung auf der Spanfläche werden die Strukturlinien zur Schneidenspitze hin abgelenkt. Die sekundäre Scherung ist nicht so ausgeprägt, daß sich eine Fließschicht an der Spanunterseite bildet. Verformungen außerhalb der Spanentstehungszone sind praktisch nicht zu erkennen, da sich die Lichtverhältnisse kaum verändern. Der Verformungsvorlauf wird aber durch die Stauchung der Spanungsdickenschicht vor der Scherzone angedeutet. Die Spanbildung erscheint mal kontinuierlich als Fließspan und mal diskontinuierlich durch einzelne Scherspanlamellen.

Schnittgeschwindigkeit 0,05 m/min

290 B/s

Bei einer Spanungsdicke von etwa $30\ \mu\text{m}$ entsteht hier ein Fließspan mit einer unregelmäßig profilierten Spanoberseite. Deutlich ist die stabile

Aufbauschneide zu erkennen, die den Spanwinkel auf annähernd 25° vergrößert. Auf der Spanfläche hat sich auf Grund der Verschleißwirkung bereits ein Kolk gebildet, der den Spanablauf entsprechend beeinflusst. Die sekundäre Scherung auf der Spanfläche erzeugt an der Spanunterseite z. T. ausgeprägte Fließschichten. Der Verformungsvorlauf wird durch eine helle Zone unmittelbar außerhalb des Schergebietes und weiter im Werkstück durch eine dunkle Zone sichtbar. Dabei ist deutlich zu beobachten, daß die Verformungstiefe praktisch der stehengebliebene Teil des Verformungsvorlaufes im Werkstück ist.

Schnittgeschwindigkeit 0,25 m/min

1800 B/s

Die Spanungsdicke beträgt etwa $40\ \mu\text{m}$. Die diskontinuierliche Fließspanbildung mit wechselnder Spandicke zeigt andeutungsweise auch Scherspanelemente. Die große Stauchung hellt das Schergebiet und die unmittelbare Umgebung stark auf, so daß einzelne Verformungsvorgänge und vor allem auch das Verhalten einzelner Kristalle kaum beobachtet werden können. Außerhalb dieser hellen Zone deutet eine dunkler schattierte Zone den weiteren Verformungsvorlauf an. Eine unbeabsichtigte Besonderheit, speziell des Zerspannungsvorganges bei dieser Schnittgeschwindigkeit, sind die auftretenden Ratterschwingungen. Vermutlich liegen die dynamischen Vorgänge der Spanbildung gerade im Resonanzbereich der Versuchsmaschine.

Schnittgeschwindigkeit 1,25 m/min

6600 B/s

1. Bei einer Spanungsdicke von etwa $15\ \mu\text{m}$ entsteht ein Fließspan mit einer stark unregelmäßigen Spanoberseite, wie sie immer wieder zu beobachten ist und die eine Folge der Verformungsinhomogenität eines kristallinen Werkstoffes ist, zumal die Spanungsdicke unter der mittleren Korngröße liegt. Der Zerspannungsvorgang verläuft außerdem in der vom vorangegangenen Schnitt vorverformten Oberflächenschicht. Teilweise sind diese unregelmäßigen Verformungsvorgänge direkt zu beobachten. Bemerkenswert ist die stark ausgeprägte Fließschicht, deren Entstehung bei genauer Betrachtung zu erkennen ist.

2. Die Einzelheiten der Spanentstehung sind bei einer Spanungsdicke von etwa $35\ \mu\text{m}$ wesentlich besser zu erkennen. Die Schervorgänge zeigen das unterschiedliche Werkstoffverhalten. Mal wird ein kurzes Spanstück mit einer relativ gleichbleibenden Spanoberseite gebildet, mal entsteht durch starkes Abgleiten einzelner Werkstoffschichten eine zerklüftete Spanoberfläche. Die Spanstauchung ist mit 3 bis 4 relativ groß. Vor der eigentlichen Scherzone ist ein sehr heller Werkstoffbereich sichtbar, während weiter in das Werkstück hinein eine dunklere Zone den Verfor-

mungsvorlauf anzeigt. Die Erklärung hierfür ist die verhinderte Spanbreitenstauchung, so daß der direkte Verformungsbereich sich an die Glasscheibe anpreßt und daß dadurch weiter zurückliegende Werkstoffbereiche von der Glasscheibe abgedrückt werden und dunkel erscheinen. Eine Fließschichtbildung an der Spanunterseite ist deutlich zu beobachten, allerdings nicht so ausgeprägt wie in der vorangegangenen Szene.

Schnittgeschwindigkeit 2,5 m/min

Hier beträgt die Spanungsdicke etwa 20 μm . Der Spanbildungsvorgang ist durch eine kleine, aber scharfe Aufbauschneide gekennzeichnet, die den Spanwinkel auf über 40° vergrößert und so den Spanablauf wirksam beeinflusst. Den größten Teil der Aufbauschneide bildet ein stabiler Kern, an dessen Spitze sich kleinste Teilchen kurzzeitig festsetzen, die vorwiegend mit der Schnittfläche über die Freiflächen wieder abwandern. Als sich die Aufbauschneide zu weit über die Schneidkante vorbaut, wird der überragende Teil abgeschert. Der spitze und scharfe Keil bleibt bis zum Ende der Szene erhalten. Auch hier entsteht wieder ein diskontinuierlicher Fließspan. Dabei ist teilweise eine gewisse Unregelmäßigkeit der Fließschichtbildung zu beobachten. Bei einer gleichmäßig ausgeprägten Fließschicht nimmt die Spankrümmung deutlich sichtbar zu.

Schnittgeschwindigkeit 5 m/min

Bei dieser Schnittgeschwindigkeit reicht die maximale Bildfrequenz der Fastax-Kamera kaum noch aus, die Bewegungsvorgänge für das menschliche Auge wahrnehmbar aufzulösen. An diesem Spanbildungsvorgang bei 25 bis 30 μm Spanungsdicke fällt die relativ große Stauchung bei einem entsprechend kleinen Scherwinkel auf. Für die Spannickenstauchung wurde ein Wert von über 4 ermittelt. Die Spanentstehung ist wieder mit einer Aufbauschneide verbunden. Es ist bemerkenswert, daß dieser kleine, spitze Keil aus dem Werkstückstoff der Schneidenbelastung standhält. Dabei erweist sich die Aufbauschneide über einen längeren Schnittweg als formstabil. Die sekundäre Scherung erzeugt die bei höheren Schnittgeschwindigkeiten zu erwartende ausgeprägte Fließschicht. Die Verformungsvorgänge im Schergebiet und in den weiteren Bereichen des Werkstückes verlaufen in der bereits beschriebenen Weise.

Literatur und Filmveröffentlichung

- [1] DEGNER, W., H. LUTZE und E. SMEJKAL: Spanende Formung. Theorie — Berechnung — Richtwerte. VEB Verlag Technik, 3. Aufl., Berlin 1969.
- [2] DOHMEN, H. G.: Zusammenfassung und Vergleich der zerspanungsmechanischen Theorien. Ind.-Anz. 87 (1965), 839—844 u. 1023—1032.

- [3] GAPPISCH, M., und W. SCHILLING: Die Aufbauschneidenbildung bei der spanabhebenden Bearbeitung. Ind.-Anz. 87, 69 (1965), 1625—1634. Untersuchungen über die Aufbauschneidenbildung und deren Ursachen. Ind.-Anz. 87, 87 (1965), 2065—2074.
- [4] HEYSE, E.: Über die Anwendung von Xenonlicht in der Mikrokine-matographie. Res. Film 4 (1963), 476—481.
- [5] KHARE, M. K.: Untersuchung des Reibungsverhaltens zwischen Span und Spanfläche sowie Prüfung der Scherwinkelbeziehungen durch Zer-spankraftmessung beim Schnittunterbrechungsvorgang. Diss. TU Berlin 1969.
- [6] KÖHLER, G.: Modelltheoretische Betrachtungen und Untersuchungen mit Hilfe der Spanwurzel-Mikrografie als Beitrag zur Beschreibung des Verformungsvorganges bei der spanenden Bearbeitung metallischer Werkstoffe. Diss. TU Berlin 1968.
- [7] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zer-spanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [8] VIERGEGE, G.: Zerspanung der Eisenwerkstoffe. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1959.
- [9] WARNECKE, G.: Untersuchungen zur Mikrogeometrie der Spanbildung metallischer Werkstoffe. Unveröffentlichte Forschungsarbeit am Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen TU Hannover.
- [10] WIEBACH, H. G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanungsvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. Werkstattstechnik 55, 3 (1965), 128—133.
- [11] WIEBACH, H. G., und G. HUMMEL: Mikrokine-matografische Studien über das Zerspanen von Metallen. Res. Film 5 (1966), 501—509.
- [12] ZOREV, N. N.: Metal Cutting Mechanics. Pergamon Press, Oxford 1966.
-
- [13] WIEBACH, H. G.: Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spandicken. Film B 885 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1971 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 71 m, 6½ 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. H.-G. WIEBACH, Dipl.-Ing. G. WARNECKE, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dipl.-Ing. K. W. BOSAK; Aufnahme: Ing. G. HUMMEL.

Inhalt des Films

Der Film zeigt den Spanentstehungsvorgang beim Orthogonalschnitt an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus dem Automatenstahl 9 S 20. In dem überwiegend ferritischen Gefüge erscheint die Spanbildung hinsichtlich der primären und sekundären Scherverformung, der sichtbaren Werkstückverformung und der Spanerscheinungsformen im allgemeinen diskontinuierlich. Der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit (0,01 bis 5 m/min) deutet sich sowohl bei der Aufbauschnneidenbildung als auch bei den sekundären Schervorgängen auf der Spanfläche mit der Entstehung von Fließschichten und der Wirkung auf die Spankrümmung an.

Summary of the Film

The film shows how chippings are produced from a polished and etched testing workpiece made of the free-cutting steel 9 S 20 during orthogonal cutting. In the predominantly ferritic structure the chip formation is generally intermittent, as regards the primary and secondary deformation of shearing, the visible deformation of the workpiece and the chipping shapes. The effect of the cutting speed (0.01 to 5 m/min.) is indicated both by the formation of pick-up on the cutting edge and by secondary shearing on the true rake, with the formation of flow layers and the effect on the chipping curvature.

Résumé du Film

Le film présente le processus de la formation de copeaux dans la coupe orthogonale d'un échantillon d'une pièce en cours d'usinage, polie et décapée, provenant de l'acier de décollement 9 S 20. Dans cette structure à caractère principalement ferritique, la formation de copeaux apparaît discontinue, d'une façon générale, en fonction de la déformation primaire et secondaire du cisaillement, la déformation visible de la pièce à travailler, et les différents genres de copeaux formés. L'influence exercée par la vitesse de coupe (0,01 à 5 m/min) se manifeste aussi bien dans la formation qui se produit sur le tranchant que dans les processus secondaires du cisaillement sur la surface de cisaillement, sous forme de couches d'écoulement et par son action sur la courbure de la coupe.