

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 1623/1970*

**Zerspanen von Stahl 16 MnCr 5  
Schnittvorgang im Feingefüge  
Variation der Spannungsdicke**

Mit 6 Abbildungen

GÖTTINGEN 1971

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

## Zerspanen von Stahl 16 MnCr 5

### Schnittvorgang im Feingefüge

### Variation der Spanungsdicke<sup>1</sup>

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  $\Phi$  einschließt. Zur Analyse des Spanbildungsvorganges wird der unter der Einwirkung des Schneidkeils stehende Werkstoffbereich entsprechend Abb. 1 in fünf Wirkzonen eingeteilt (WARNECKE [11]).

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.

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 15.

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.

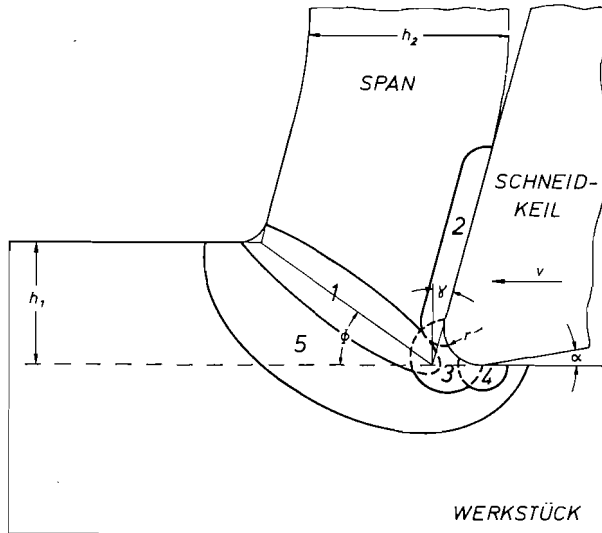


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung  
(Erläuterungen im Text)

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. [2], VIEREGGE [10]).

### 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 [8] 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

Belästigung

*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 [12]).

### 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 stehen bleiben. 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 [4]).

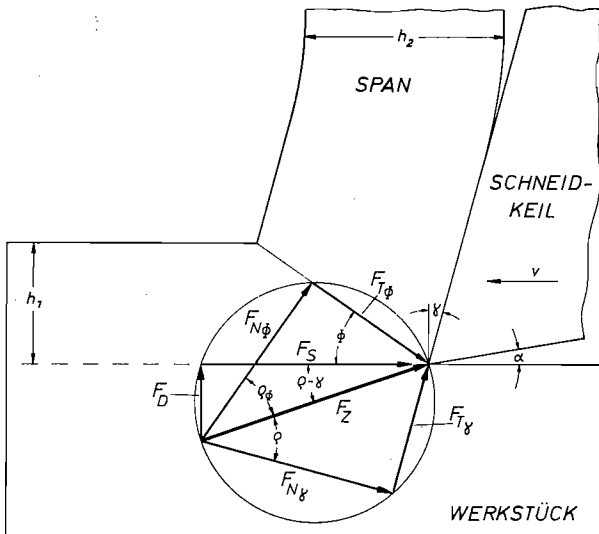


Abb. 2. Kräftegeometrie beim Orthogonalschnitt

$F_z$  Zerspankraft,  $F_s$  Schnittkraft,  $F_D$  Drangkraft,  $F_{N\psi}$  Normalkraft auf der Spanfläche,  $F_{T\psi}$  Tangentialkraft auf der Spanfläche,  $F_{N\phi}$  Normalkraft in der Scherebene,  $F_{T\phi}$  Tangentialkraft in der Scherebene,  $\phi$  Scherwinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $\psi$  Reibungswinkel auf der Spanfläche,  $\phi_\psi$  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 [3], KHARE [6], ZOREV [14]). Die primäre Verformungsart aller Fließspanmodelle erfolgt durch Scherung, so daß der Scherwinkel  $\Phi$  (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  $\Phi$ , dem Spanwinkel  $\gamma$  und dem Spanflächen-Reibungswinkel  $\varrho$  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 Einzelerspanungsfälle Gültigkeit besitzen.

### Verformungsgeometrie

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

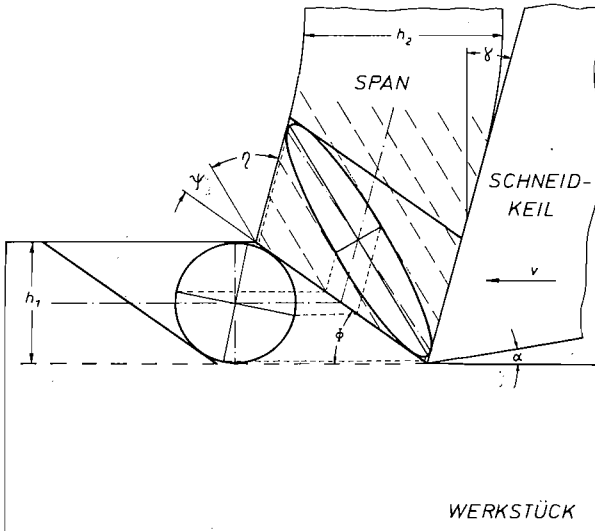


Abb. 3. Verformungsmodell

$h_1$  Spannungsdicke,  $h_2$  Spandicke,  $\alpha$  Freiwinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $\Phi$  Scherwinkel,  $\Psi$  Strukturwinkel,  $\eta$  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 Zerspannungsuntersuchungen 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  $\psi$  und mit der Spanfläche den Strukturwinkel  $\eta$  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 [7] untersucht.

#### Variation der Spannungsdicke

Mit der Variation der Spannungsdicke wird nicht nur die Größenordnung der Spanentstehung verändert, sondern es muß in diesem Zusammenhang der sog. „size effect“ berücksichtigt werden, der in der Tatsache, daß bei sehr kleinen Spannungsdicken die spezifische Schnittkraft zunimmt, begründet ist (BACKER u. a. [1], THOMSEN u. a. [9]). Entsprechend steigt beim Zugversuch die Zugfestigkeit bei kleinsten Probenquerschnitten. Daraus kann geschlossen werden, daß die Spannungsdicke besonders im Bereich kleiner Werte nicht nur direkt, sondern auch indirekt über das Werkstoff-Spannungs-Dehnungs-Verhalten auf den Zerspanvorgang wirkt. So wird auch verständlich, daß sich mit der Spannungsdicke die Charakteristik der Spanbildung verändern kann.

#### 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 mikrokinematografischer Zerspanungsstudien wurden von WIEBACH und HUMMEL mit einer ersten diesem Zweck angepaßten Versuchseinrichtung untersucht [12], [13], [15]. Nach diesen Erfahrungen wurde ein neuer Versuchsstand entwickelt und gebaut, der die Voraussetzungen für eine mikrokinematografische Erfassung der Spanantstehung optimal erfüllt<sup>1</sup>. 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  $\mu\text{m}$  ausgelegt wurde.

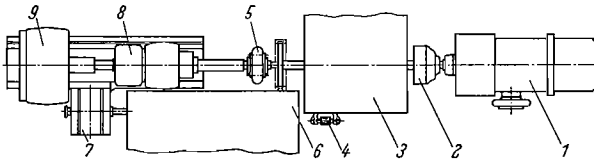


Abb. 4. Schema der Versuchseinrichtung

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 Bauteil 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  $\mu\text{m}$  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)

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



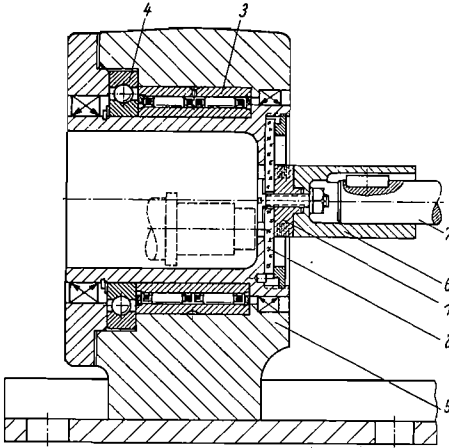


Abb. 5.  
Zerspanungskopf (Wirkstelle mit rotierender Glasplatte)

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

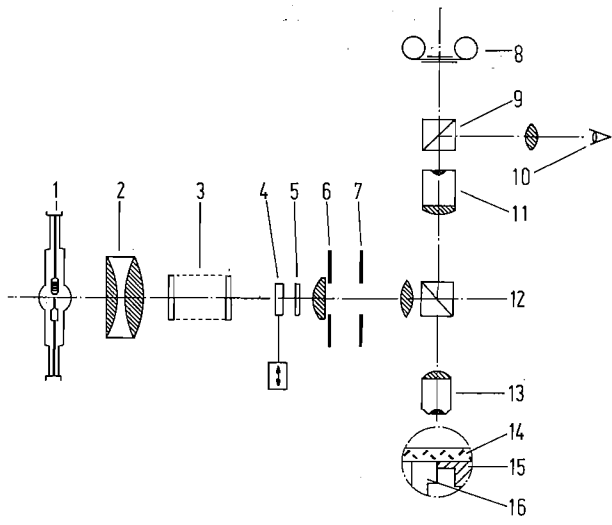


Abb. 6. Schematischer Aufbau der Mikroskopier- und Beleuchtungseinrichtung

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

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 [5] erreicht. Wärmeschutzgläser, UV-Sperrfilter, Apertur- und Leuchtfeldblende sind notwendige Voraussetzungen für eine einwandfreie Beleuchtung im Auflicht-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 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<sup>1</sup>.

#### Technologische Angaben

Einsatzstahl 16 MnCr 5, normalgeglüht, Werkstoff-Nr. 1.7131

Chemische Zusammensetzung: C	0,14—0,19%
(nach DIN 17210) Si	0,25%
Mn	1,15%
P	≤ 0,035%
S	≤ 0,035%
Cr	0,95%

Härte: HV 30 = 150 kp/mm<sup>2</sup>

Zugfestigkeit (umgerechnet nach DIN 50150)  $\sigma_B = 53$  kp/mm<sup>2</sup>.

#### Filmbeschreibung<sup>2</sup>

*Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min*

*Spanwinkel 0°*

*48 B/s*

*Bildfeldbreite etwa 400  $\mu$ m*

Der Film zeigt den ebenen Zerspanungsvorgang in der Ansicht senkrecht zur Hauptschneide. Da der Schneidkeil, begrenzt durch Span-

<sup>1</sup> Herrn E. FRIXE (IWF) sei für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Versuchsdurchführung gedankt.

<sup>2</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

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 hängen bleiben 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 kontrastreiche Schlibbild zeigt das ferritisch-perlitische Gefüge des 16 MnCr 5, in dem der Ferritanteil überwiegt. Die mittlere Korngröße beträgt etwa 30 bis 40  $\mu\text{m}$  und liegt somit im Bereich der veränderten Spannungsdicke.

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.

#### *Spannungsdicke etwa 5 $\mu\text{m}$*

Infolge der Verformungen erscheinen der Span und die dem Verformungsvorlauf unterworfenen Kristallbereiche im Werkstück so dunkel, daß keine Einzelheiten erkennbar sind. Die Schnittkante wirkt deshalb wie eine unregelmäßig gebrochene Kante, obwohl der Schneidkeil die Kristalle glatt abschert. Es ist gut zu beobachten, daß sich die Verformungen in den Kristallen sprungartig fortpflanzen.

#### *Spannungsdicke etwa 15 $\mu\text{m}$*

Trotz der kontrastreich erscheinenden Verformungsvorgänge sind die Einzelheiten der Spanentstehung und der ablaufende Span deutlicher zu erkennen. Die relativ gleichmäßige Fließspanbildung ist mit einer Auf-

bauschneide verbunden, die den Spanablauf durch den auf etwa  $30^\circ$  vergrößerten Spanwinkel begünstigt. An einigen Stellen ist eine sekundäre Scherung auf der Spanfläche zu erkennen.

#### *Spanungsdicke etwa 25 $\mu\text{m}$*

Mit zunehmender Spanungsdicke werden die ablaufenden Vorgänge besser sichtbar. Auch hier wirkt wieder eine Aufbauschneide bei der Entstehung des Fließspanes mit, der durch die wechselnde Scherung in einer Scherzone eine unregelmäßig profilierte Oberfläche erhält. Die kleine und spitze Aufbauschneide schert die einzelnen Kristalle glatt ab, so daß eine glatte Schnittkante am Werkstück und eine glatte Spanunterseite entstehen. Die glatte Schnittkante wird von Zeit zu Zeit durch abwandernde Werkstoffteile, die kurzzeitig auf dem keilförmigen Kern der Aufbauschneide haften, unterbrochen. Der Schervorgang läßt sich im einzelnen gut verfolgen. Dabei wird deutlich, daß die Scherrichtung nicht mit dem auf Grund von Modellvorstellungen definierten Scherwinkel übereinstimmt. Die Grenze des Schergebietes im Werkstück scheint von der Schneidenspitze ein Stück in Schnittrichtung zu verlaufen und knickt dann zur Oberfläche ab. Den Span kennzeichnet eine einheitlich ausgerichtete, ausgeprägte Struktur. Der Verformungsvorlauf zeigt die durch das Kristallgefüge bedingten Unregelmäßigkeiten.

#### *Spanungsdicke etwa 40 $\mu\text{m}$*

Im Vergleich zu den vorangegangenen Aufnahmen zeigt sich hier nur noch ein winziger Schneidenansatz, der kaum noch als Aufbauschneide bezeichnet werden kann. Der Schervorgang ist sehr gleichmäßig, so daß der Span eine eindeutige Struktur aufweist. Der Verformungsvorlauf erscheint unmittelbar vor dem Schergebiet als helle Zone, die von einem dunklen Werkstoffbereich umgeben wird. Die helle Zone entsteht vermutlich durch den infolge der verhinderten Spanwurzelbreitung erzeugten Druck gegen die Quarzscheibe, während die dunklen Kristallbereiche als Reaktion darauf von der Scheibe weggedrückt werden und somit das Licht weniger gut reflektieren. Die sichtbare Verformungstiefe ist relativ klein.

#### *Spanungsdicke etwa 70 $\mu\text{m}$*

Bei dieser Aufnahme sind die Schervorgänge in der Spanentstehungszone besonders eindrucksvoll, da sich die verschiedenen Stadien bei der Verformung einzelner Kristalle genau verfolgen lassen. Der schon erwähnte Verlauf der Scherzonenbegrenzung zum Werkstück wird hier bestätigt. Die dunkle Zone unmittelbar vor der Schneide deutet Zugspannungen auf Grund der Werkstofftrennung an. In der Spanunterseite bleibt eine dunkle Schicht erhalten, und keine Anzeichen deuten auf eine sekundäre Scherung. Ein kleiner Schneidenansatz ist auch hier

wieder zu erkennen. Die fein geschichtete Struktur im Span ist ein Zeichen großer Verformungsgrade. Die außerordentlich gleichmäßige Struktur und die geringe Rauheit des Spanoberflächenprofils sind weitere Merkmale dieses ausgeprägt regelmäßigen Fließspans.

### Literatur und Filmveröffentlichung

- [1] BACKER, W. R., E. R. MARSHALL and M. C. SHAW: The Size Effect in Metall Cutting. Trans. ASME 74 (1952), 61-72.
  - [2] DEGNER, W., H. LUTZE und E. SMEJKAL: Spanende Formung. Theorie — Berechnung — Richtwerte. VEB Verlag Technik, 3. Aufl., Berlin 1969.
  - [3] DOHMEN, H. G.: Zusammenfassung und Vergleich der zerspanungsmechanischen Theorien. Ind.-Anz. 87 (1965), 839—844 u. 1023—1032.
  - [4] 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.
  - [5] HEYSE, E.: Über die Anwendung von Xenonlicht in der Mikrokineematographie. Res. Film 4 (1963), 476—481.
  - [6] KHARE, M. K.: Untersuchung des Reibungsverhaltens zwischen Span und Spanfläche sowie Prüfung der Scherwinkelbeziehungen durch Zerspankraftmessung beim Schnittunterbrechungsvorgang. Diss. TU Berlin 1969.
  - [7] 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.
  - [8] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
  - [9] THOMSEN, E. G., J. T. LAPSLEY und R. C. GRASSI: Deformation Work Absorbed by the Workpiece During Metal Cutting. Trans. ASME 75 (1953), 591-603.
  - [10] VIEREGGE, G.: Zerspanung der Eisenwerkstoffe. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1959.
  - [11] WARNECKE, G.: Untersuchungen zur Mikrogeometrie der Spanbildung metallischer Werkstoffe. Unveröffentlichte Forschungsarbeit am Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen TU Hannover.
  - [12] WIEBACH, H. G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanungsvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. Werkstattstechnik 55, 3 (1965), 128—133.
  - [13] WIEBACH, H. G., und G. HUMMEL: Mikrokineamatografische Studien über das Zerspanen von Metallen. Res. Film 5 (1966), 501—509.
  - [14] ZOREV, N. N.: Metal Cutting Mechanics. Pergamon Press, Oxford 1966.
- 
- [15] 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 1970 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 49 m, 4 ½ min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden in den Jahren 1968 und 1969. 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, Ing. G. HUMMEL.

## **Inhalt des Films**

Der Film zeigt den Spanentstehungsvorgang beim Orthogonalschnitt an einer polierten und geätzten Werkstückprobe aus dem Einsatzstahl 16MnCr5. In dem ausgeprägt ferritisch-perlitischen Gefüge sind die einzelnen Verformungsbereiche und -vorgänge bei der Entstehung von Fließspänen besonders gut zu beobachten. Mit zunehmender Spanungsdicke wird die Fließspanbildung kontinuierlicher, d. h. die Scherverformung, die Spanstruktur und das Spanprofil erscheinen eindeutiger ausgerichtet und gleichmäßiger. Die Veränderung der Spanungsdicke wirkt sich auch auf die Aufbauschneidenbildung aus.

## **Summary of the Film**

The film shows how chippings are formed during orthogonal cutting from a polished and etched testing workpiece made of casehardening steel 16 MnCr 5. The individual areas and stages of flowing chip formation are worth watching well in this markedly ferrite-perlitic structure. As the chip thickness increases, the formation of flowing chip becomes more regular, that is, the shearing deformation, chipping-structure and chipping-profile are clearer and more even. The variation in thickness of the chippings also affects the formation of pick-up on the cutting edge.

## **Résumé du Film**

Le film montre le processus de la formation de copeaux dans la coupe orthogonale d'un échantillon d'une pièce à usiner, polie et découpée, provenant de l'acier cémenté 16 MnCr 5. Dans cette structure à caractère principalement perlitique-ferritique, il est très facile d'observer les secteurs et processus de déformation au cours de la formation des copeaux écoulements. Plus la profondeur de coupe est grande et plus la formation des copeaux écoulements présente de continuité, c'est à dire que la déformation du cisaillement, la structure de la coupe et le profil de la coupe présentent un aspect nettement plus aligné et plus uniforme. La modification de la profondeur de coupe influe sur la formation qui se produit sur le tranchant.