

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

---

*E 1622/1970*

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

Mit 6 Abbildungen

GÖTTINGEN 1971

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

# Zerspanen von Stahl 16 MnCr 5

## Schnittvorgang im Feingefüge

### Variation der Schnittgeschwindigkeit<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 [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.

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 16.

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.

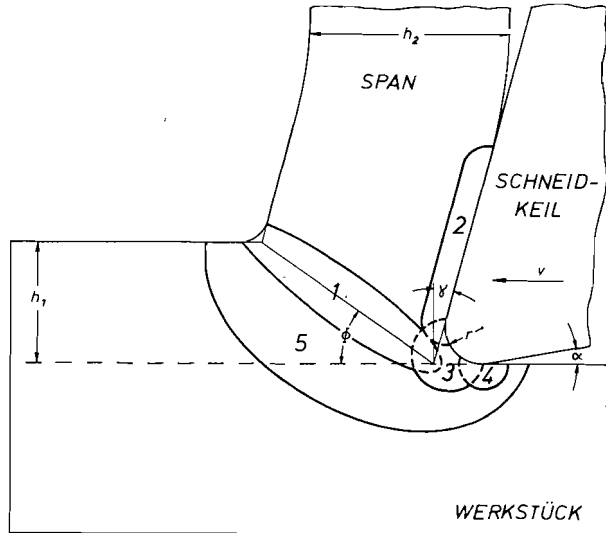


Abb. 1. Wirkzonen bei der Spanentstehung  
(Erläuterungen im Text)

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.

### 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 [11]).

### 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]).

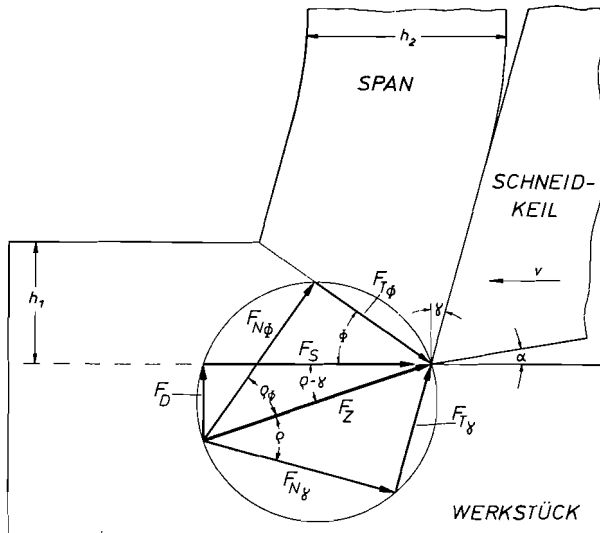


Abb. 2. Kräftegeometrie beim Orthogonalschnitt

$F_Z$  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,  $\phi$  Scherwinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $\rho$  Reibungswinkel auf der Spanfläche,  $\rho - \gamma$  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  $\Phi$  (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-Reibwinkel  $\varrho$  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 Einzelzerspanungsfälle Gültigkeit besitzen.

### Verformungsgeometrie

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

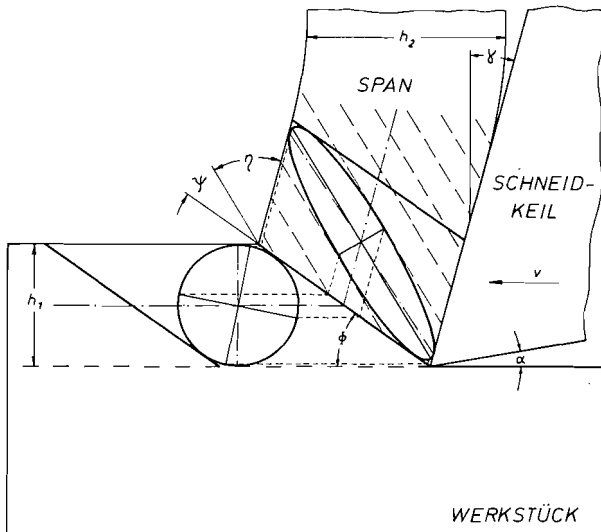


Abb. 3. Verformungsmodell

$h_1$  Spannungsdicke,  $h_2$  Spandicke,  $\alpha$  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 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  $\psi$  und mit der Spanfläche den Strukturwinkel  $\eta$  bildet.

Aus der Geometrie in Abb. 3 ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}\cot \Phi &= \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma} \\ \Phi + \psi + \eta - \gamma &= 90^\circ \\ 2 \cot 2\psi &= \cot \Phi + \tan(\Phi - \gamma) \\ 2 \cot 2\psi &= \frac{1}{\cos \gamma} \left[ \left( \lambda + \frac{1}{\lambda} \right) - 2 \sin \gamma \right]\end{aligned}$$

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.

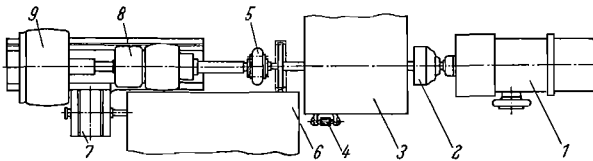


Abb. 4. Schema der Versuchseinrichtung

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

Die Probleme mikrokinematografischer 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 mikrokinematografische Erfassung der Spanentstehung 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.

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-

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



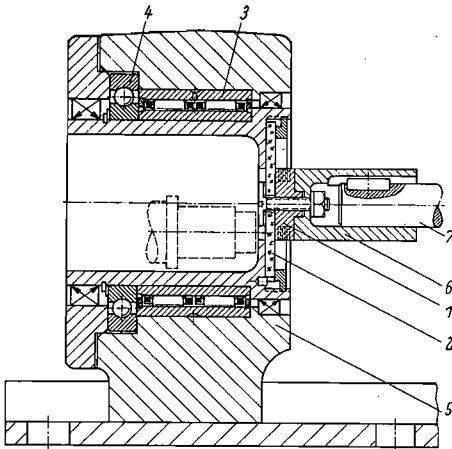


Abb. 5.  
Zerspanungskopf (Wirkstelle mit rotierender Glasplatte)

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

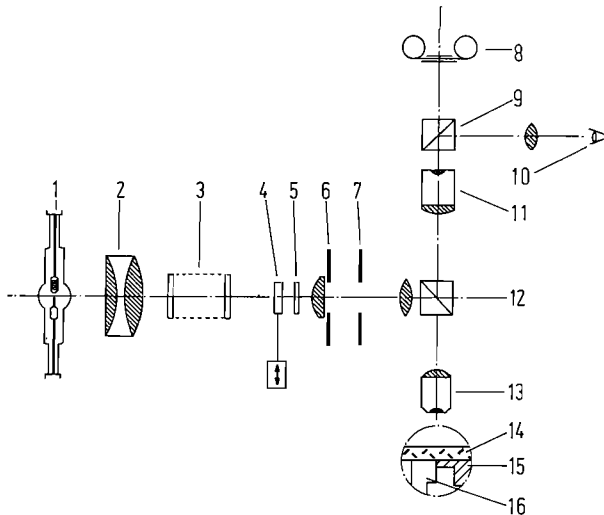


Abb. 6. Schematischer Aufbau der Mikroskopier- und Beleuchtungseinrichtung

- 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

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

Der optische Teil des Versuchstandes 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) 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 Spezialkollector nach Berechnungen von HEYSE [4] 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 geläpft, damit bei der vorliegenden Vergrößerung das Werkzeug ideal scharf, ohne Schleifriefen und Kanten- ausbrüche 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	$\leq 0,035\%$
S	$\leq 0,035\%$
Cr	0,95%

Härte: HV 30 = 150 kp/mm<sup>2</sup>

Zugfestigkeit (umgerechnet nach DIN 50150)  $\sigma_B = 53 \text{ kp/mm}^2$ .

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

## Filmbeschreibung<sup>1</sup>

*Spannungsdicke 20 bis 55  $\mu\text{m}$*

*Spanwinkel 0°*

*Bildfeldbreite 400  $\mu\text{m}$*

Der Film zeigt den ebenen Zerspanungsvorgang 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 Quarzsplinter 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 kontrastreiche Schlibfbild 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 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.

---

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

### *Schnittgeschwindigkeit 0,01 m/min*

48 B/s

Bei einer Spanungsdicke von etwa  $55\ \mu\text{m}$  entsteht ein leicht ungleichmäßiger Fließspan. Der Spanbildungsvorgang wird durch eine stabile Aufbauschneide, die den Werkzeug-Spanwinkel auf etwa  $30^\circ$  vergrößert, beeinflusst. Die Aufbauschneide bildet eine negative Freiflächenphase, so daß es manchmal zu einer sekundären Scherung an der Freifläche kommt. Der gesamte Verformungsbereich ist an der hellen Scherzone und dem umgebenden dunklen Werkstoffgebiet zu erkennen. Die helle Zone entsteht vermutlich durch den infolge der verhinderten Spanwurzelbreitung erzeugten Druck gegen die Glasscheibe, während die dunkle Umgebung als Reaktion auf diesen Druck von der Scheibe abzuheben versucht und deshalb das Licht weniger gut reflektiert. Die starken Kontraste weisen auf die Struktur im Span hin. Die unregelmäßig profilierte Spanoberfläche entsteht durch unterschiedliche Scherung, die vermutlich mit der inhomogenen Verformungsfähigkeit eines kristallinen Werkstoffes zu erklären ist.

### *Schnittgeschwindigkeit 0,05 m/min*

300 B/s

Die Spanungsdicke beträgt hier etwa  $30\ \mu\text{m}$ . Bei einer auf der Spanfläche langgestreckten Aufbauschneide mit einem Spanwinkel von etwa  $15^\circ$  entsteht ein unregelmäßiger Fließspan. Die Struktur im Span läßt keine eindeutige Richtung erkennen, und ebenso ungleichmäßig erscheint die Spanoberfläche. An der negativen Freiflächenfase und an der Spitze der Aufbauschneide setzen sich Werkstoffteile fest, die meistens nach kurzer Zeit wieder verschwinden. An der Span- und Freifläche treten unregelmäßig sekundäre Schervorgänge auf.

### *Schnittgeschwindigkeit 0,25 m/min*

1500 B/s

Der Spanbildungsvorgang bei einer Spanungsdicke von etwa  $45\ \mu\text{m}$  verläuft relativ kontinuierlich, so daß ein Fließspan mit einer gleichmäßigen Struktur und einer verhältnismäßig ausgeglichenen Spanoberfläche entsteht. Die sekundäre Scherung lenkt die Strukturlinien zur Schneidenspitze ab und erzeugt eine helle Fließschicht in der Spanunterseite. Die Aufbauschneide weist mit einem Spanwinkel von etwa  $30^\circ$  und einer negativen Freiflächenfase dieselben Merkmale wie die Aufbauschneiden bei kleineren Schnittgeschwindigkeiten auf. Auffallend sind die ungewohnten Relativbewegungen des Schneidkeils, die als Ratter-

schwingungen gedeutet werden können, weil sie ausschließlich bei dieser Schnittgeschwindigkeit auftreten, d. h. die dynamischen Vorgänge bei der Spanentstehung müssen im Resonanzbereich der Versuchsmaschine liegen.

#### *Schnittgeschwindigkeit 1,25 m/min*

6500 B/s

Bei dieser Schnittgeschwindigkeit und einer Spanungsdicke von etwa 35  $\mu\text{m}$  haben sich die Verhältnisse bei der Spanbildung nicht wesentlich verändert, so daß die gleichen Vorgänge wie in den vorangegangenen Szenen beobachtet werden können.

#### *Schnittgeschwindigkeit 2,5 m/min*

6500 B/s

Hier hat die Aufbauschneide eine bemerkenswerte Größe angenommen, so daß die Spanentstehung und der Spanablauf deutlich sichtbar beeinflußt werden. Der wirksame Spanwinkel beträgt etwa 25°, die Spanungsdicke kann mit etwa 55  $\mu\text{m}$  angegeben werden. Das Profil der Spanoberfläche erscheint ohne die vorher beobachteten ausgeprägten Spitzen gleichförmiger und ausgeglichener. Der stabile Kern der Aufbauschneide wird durch einen ziemlich scharfkantigen 90°-Keil gebildet, der auf die Hauptgleitrichtungen unter 90° hindeutet. Werkstoffablagerungen auf diesem stabilen Kern wandern nach kurzer Zeit wieder ab.

#### *Schnittgeschwindigkeit 5,0 m/min*

6500 BS

Bei einer Spanungsdicke von etwa 50  $\mu\text{m}$  ist der Zerspanungsvorgang hier mit einer beachtlichen Aufbauschneide verbunden, deren Höhe 90  $\mu\text{m}$  und deren Länge auf der Spanfläche 140  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Spanablauffläche erscheint als gekrümmte Kante mit einem Anfangs-Spanwinkel von etwa 50°. Da der Span die Werkzeug-Spanfläche kaum noch berührt, übernimmt praktisch die Aufbauschneide die Funktionen des Schneidkeils. Die abgerundete Aufbauschneidenspitze erscheint durch das unregelmäßige Festsetzen und Abwandern unterschiedlich großer Werkstoffteile ziemlich instabil. Manchmal entsteht der Eindruck, daß die ganze Aufbauschneide schwankt und ein größerer Teil abgesichert würde. Bei dieser Schnittgeschwindigkeit reicht die maximale Bildfrequenz der Fastax-Kamera kaum noch aus, die Vorgänge ausreichend aufzulösen.

#### **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] GAFFISCH, 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 Mikrokinematographie. Res. Film 4 (1963), 476—481.
- [5] KHARE, M. K.: Untersuchung des Reibungsverhaltens zwischen Span und Spanfläche sowie Prüfung der Scherwinkelbeziehungen durch Zerspankraftmessung 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 Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [8] VIEREGGE, 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: Mikrokinematografische 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 1970 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 70 m, 6 1/2 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. Der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit (0,01 bis 5 m/min) wirkt sich in erster Linie auf die Aufbauschneidbildung aus, die gerade bei größeren Werten bemerkenswerte Formen annimmt, so daß die Spanbildung zusätzlich durch die veränderte Schneidengeometrie beeinflusst wird.

## Summary of the Film

The film shows how chippings are produced from a polished and etched testing workpiece made of casehardening steel 16MnCr5 during orthogonal cutting. The individual areas and stages of deformation during the formation of flowing chips are particularly worth watching in this markedly ferrito-perlitic structure. The effect of the cutting speed (0.01 to 5 m/min.) is shown firstly in the formation of pick-up on the cutting edge, which assumes unusual shapes particularly with large items, so that the formation of chips is also affected by the changed geometry of the cutting edges.

## Résumé du Film

Le film montre le processus de la formation de copeaux dans la coupe orthogonale d'un échantillon d'une pièce en cours d'usinage, 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 différents secteurs de déformation et les processus de cette déformation au cours de la formation des copeaux écoulements. L'influence de la vitesse de coupe (de 0,01 à 5 m/min) s'exerce en première ligne sur la formation se produisant sur le tranchant qui, surtout dans le cas de valeurs plus élevées, assume des formes remarquables, si bien que la formation des copeaux se trouve en outre influencée par les changements subis par la géométrie de la coupe.