

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 765/1965

**Zerspanen von Stahl C 45 W 3
Spanbildung beim Drehen
Variation der Schnittgeschwindigkeit**

Mit 4 Abbildungen

GÖTTINGEN 1968

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Zerspanen von Stahl C 45 W 3
Spanbildung beim Drehen
Variation der Schnittgeschwindigkeit¹

H.-G. WIEBACH und G. WARNECKE, Hannover

Allgemeine Vorbemerkungen

Die Spanbildung als Beurteilungsmerkmal der Zerspanbarkeit

Nach einer Aufschlüsselung des Begriffs „Zerspanbarkeit“ in die vier Hauptbeurteilungsfaktoren — Standzeit, Energiebedarf, Oberflächen-güte, Spanbildung — von SCHALLBROCH und BETHMANN [9] sind Zerspanungsstudien mit Hilfe des Films unter dem Stichwort „Spanbildung“ einzuordnen. Die Fragen der Spanbildung lassen sich in die entstehende Spanform und in die Vorgänge in der Spanwurzel untergliedern.

Die Spanform ist das qualitative Beurteilungsmerkmal der makrogeometrischen Form, wobei grob zwischen Wendel-, Spiral-, Band- und Wirrspänen unterschieden wird. Weiter werden der Spanrand, die Spanunterseite, die Spanfestigkeit und die Aufbauschneide als Beurteilungsmerkmale herangezogen (SCHALLBROCH und BETHMANN [9]). Als Maßstab für den Raumbedarf der Späne gilt die Spanraumzahl R , die die „Sperrigkeit“ der Späne angibt. Sie ist als das Verhältnis des Volumen der ungeordneten Spanmenge zum zerspannten Werkstoffvolumen definiert.

¹ Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 13.

Die Vorgänge in der Spanwurzel erstrecken sich auf die Verformungen im Werkstück unterhalb der Schnittfläche und im Span bei mikrogeometrischer Betrachtung (WIEBACH [13]) und auf die Spanbildungsmechanismen an der Spanentstehungsstelle bei makrogeometrischer Betrachtung.

Spanentstehung — Spantypen — Aufbauschneide

Der Schnittvorgang selbst ist annähernd so zu deuten, daß der Werkstoff nach einer Stauchung auf der Spanfläche längs einer sogenannten Scherebene abgesichert wird und als Span mit lamellenartiger Schichtung über die Spanfläche gleitet. Die Werkstoffeigenschaften und die Schnittbedingungen bestimmen die Dicke und den Zusammenhalt der Lamellen.

Aufgrund von Spanuntersuchungen haben ROSENHAIN und STURNEY [8] drei Spantypen geprägt, deren Einteilung sich als recht sinnvoll erwiesen hat: 1. der Reißspan, der beim Zerspanen von spröden Werkstoffen durch Vorreißen und Abplatzen einzelner Werkstoffelemente entsteht, 2. der Scherspan, ein zusammenhängender Span mit deutlicher Lamellierung, und 3. der Fließspan mit gleichmäßig feiner Lamellenbildung.

Zur Abgrenzung des Scherspans vom Fließspan bedarf es eines zu definierenden Kriteriums, das RICHTER [5] aus einer Bruchprobe ableitet. Sie besagt, daß der Scherspan entlang der Lamellenebene bricht, während der Fließspan unregelmäßig bricht. RÖHLKE [7] hat festgestellt, daß der Lamellenabstand bei typischen Fließspänen unter etwa 0,05 mm lag und daß sich damit eine recht gute Übereinstimmung mit der Bruchprobe ergab.

Eine Besonderheit bei der Spanbildung ist die Aufbauschneide (Schneidenansatz), die vor allem im Scherspanbereich beim Zerspanen zäher, leicht schmierender Werkstoffe durch Verschweißung und Grenzschichtdiffusion feiner Teile des Spans mit der Spanfläche entsteht (RICHTER [6]).

Geometrie bei der Spanentstehung

Die makrogeometrische Spanverformung ist durch Messung der Spanungsdicke h_1 und der Dicke des ablaufenden Spanes h_2 einfach zu bestimmen.

Die Spanstauchung $\lambda = h_2/h_1$ stellt ein Maß für das Verformungsverhalten des Werkstoffes beim Zerspanungsvorgang dar. Sie hängt von den gegebenen Schnittbedingungen und den Werkstoffeigenschaften ab und läßt damit als Meßergebnis aus Zerspanungsuntersuchungen Rückschlüsse auf den zerspannten Werkstoff zu.

Der Scherwinkel Φ zwischen Schnittbewegungsrichtung und Scherebene ergibt sich nach Abb. 1 aus den geometrischen Verhältnissen zu $\text{ctg } \Phi = \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma}$. Einen Sonderfall stellt $\text{ctg } \Phi = \lambda$ bei $\gamma = 0^\circ$ dar.

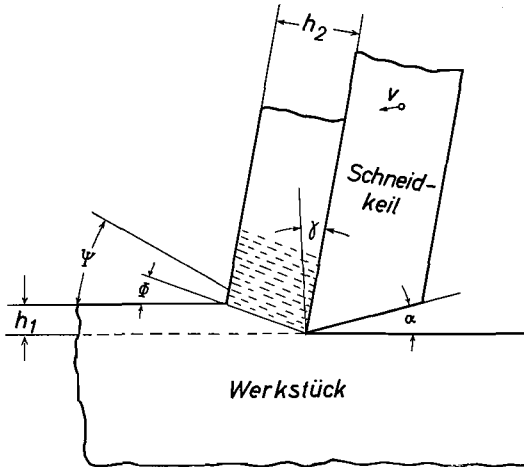


Abb. 1. Orthogonalschnitt

v : Schnittgeschwindigkeit; h_1 : Spanndicke; h_2 : Dicke des ablaufenden Spans;
 α : Freiwinkel; γ : Spanwinkel; Φ : Scherwinkel; Ψ : Texturwinkel

Theoretische Untersuchung der Spanbildung

Die theoretische Behandlung der Spanbildung verfolgt das Ziel, den Zerspanungsprozeß, ausgehend von den ursächlichen Zusammenhängen, zu klären und Zerspanungsgrößen in allgemeingültigen Beziehungen darzustellen. Mit Hilfe derartiger Gesetzmäßigkeiten könnte man z. B. die Größe der Schnittkraft rein rechnerisch ermitteln (HUCKS [2]).

Aus der Vielzahl der aufgestellten Theorien haben sich zwei Hauptrichtungen, die Scherplan- und die Scherzonentheorien herauskristallisiert. Erstere basieren auf der vereinfachenden Annahme, die Scherzone als Ebene oder leicht gekrümmte Fläche darzustellen (DOHMEN [1] und Intern. Res. . . . [3]).

Bei fast allen Spanbildungstheorien stehen die Scherwinkelbeziehungen im Mittelpunkt der Betrachtung, d. h. der Scherwinkel wird zur Hauptbeurteilungsgröße für den Spanbildungsprozeß. Jede dieser Scherwinkelgleichungen besitzt wegen der getroffenen Voraussetzungen und Vereinfachungen nur eine begrenzte Aussagefähigkeit und hat auch nur für spezielle Zerspanungsfälle Gültigkeit.

Im einfachsten Zerspanungsfall, dem Orthogonalprozeß, hängt die Spanentstehung, gekennzeichnet durch den Scherwinkel, direkt nur von vier Größen ab:

1. dem Wirkungswinkel, der Differenz aus Reibungs- und Spanwinkel,
2. dem Spanwinkel,
3. dem Schiebungswiderstand, einer definierten Schubspannung,
4. der Schnittgeschwindigkeit.

Die anderen Faktoren, wie Spannungsdicke, Spannungsbreite, die anderen Winkel am Wirkpaar usw., haben nur indirekt über die vier oben genannten Faktoren einen Einfluß auf die Spanbildung (ZOREW [12]).

Zur Entstehung des Films

Die Zerspanungsvorgänge wurden sowohl im Langdrehschnitt mit einem Einstellwinkel $\alpha = 60^\circ$ als auch im angenäherten Orthogonal-

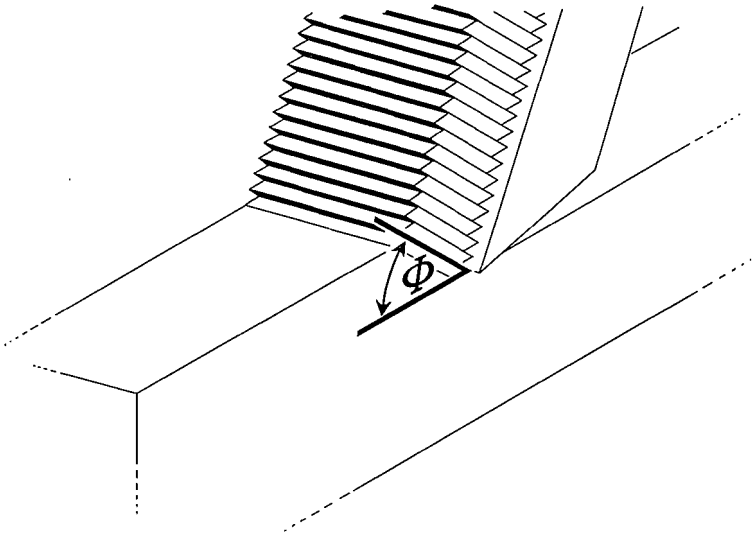


Abb. 2. Reiner Orthogonalprozeß
(Aus RÖHLKE [7])

schnitt als Rohrstirneinstich aufgenommen. — Der reine Orthogonalprozeß (Abb. 2) ist unter bestimmten Bedingungen beim Hobeln verwirklicht, wenn die Spannungsbreite kleiner als die Schneidenlänge ist, und kann beim Drehen durch Einstechen einer schmalen Scheibe (Abb. 3a) oder durch einen Rohrstirneinstich (Abb. 3b) angenähert werden. Der Orthogonalschnitt bietet allgemein den Vorteil eines Schnittes ohne Nebenschneideneinfluß und ermöglicht auch beim Drehen unter Vernachlässigung der Werkstückdurchmesseränderung über der Spannungsbreite eine zweidimensionale Darstellungsweise.

Als Versuchseinrichtung diente eine Universal-Drehmaschine¹ mit einem dem Räderkasten vorgeschalteten Verstellgetriebe zur stufenlosen Drehzahlverstellung, eine Hochfrequenz-Kamera (Fastax) auf einem gesonderten Stativ und ein Beleuchtungssystem von zehn 750-W-Spiegellampen und einer zusätzlichen Kohlebogenlampe für 2,5 mm Bildfeldbreite (WIEBACH [10]).

Beim Langdrehschnitt war die Kamera mit ihrer Aufnahmerichtung horizontal auf die Schneidenspitze ausgerichtet und um 15° gegen die Hauptschneidenrichtung versetzt aufgestellt. Beim Orthogonal-Schnitt stimmten Aufnahmerichtung und Hauptschneidenrichtung überein.

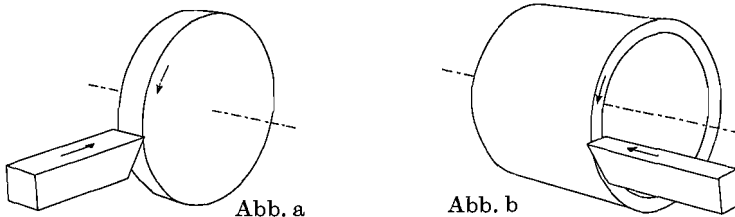


Abb. 3. Angenäherte Orthogonalprozesse
 a: Abdrehen einer Scheibe; b: Stirndrehen eines Rohres
 (Nach RÖHLKE [7])

Variation der Schnittbedingungen

Für die Variation der Schnittbedingungen wurden mit der Spannungsdicke, der Schnittgeschwindigkeit und dem Spanwinkel drei charakteristische Größen des Schnittvorganges gewählt, die auf Grund bestimmter technologischer Forderungen auch in der Praxis häufig verändert werden.

Die Größe der Spannungsdicke bzw. des Vorschubes, die wesentlich die sich einstellende Schnittkraft bestimmt, teilt die Bearbeitungsverfahren durch die dabei entstehende Maßhaltigkeit und Oberflächengüte in „Schruppen“, „Schlichten“ und „Feinbearbeitung“ ein.

Die Schnittgeschwindigkeit ist gleichermaßen leistungs- als auch standzeitbestimmende Größe und beeinflusst entscheidend die Oberflächengüte.

Der Spanwinkel als wichtigster Arbeitswinkel bestimmt entscheidend den Spanablauf. Seine Größe stellt einen Kompromiß zwischen zwei unterschiedlichen Forderungen dar:

¹ Der Firma HEIDENREICH & HARBECK, Hamburg, die für die Untersuchungen eine geeignete Maschine (VDF-Modell 18 RO) zur Verfügung stellte, sei an dieser Stelle besonders gedankt.

- a) geringe Schnittkraft infolge geringer Spanstauchung durch einen schlanken Schneidkeil mit möglichst großem Spanwinkel,
- b) hohe mechanische und thermische Belastbarkeit eines kompakten Schneidkeils mit kleinem oder negativem Spanwinkel.

Die Untersuchung dieser Einflußgrößen auf den Spanbildungsprozeß trägt zur Klärung der ursächlichen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Zerspanungsfaktoren bei. So erhält man beispielsweise aus Schnittkraft- und Schnitttemperaturmessungen Abhängigkeiten, deren Deutung oft nur mit Hilfe von Spanbildungsuntersuchungen möglich ist (WIEBACH [11]).

Technologische Angaben

Als Zerspanungswerkstoff wurde der für Zerspanungsuntersuchungen bevorzugte Stahl C 45 W 3, Werkstoffnummer 1.1730, ein unlegierter Werkzeugstahl der Güteklasse 3, gewählt. Für Vergleichsuntersuchungen bietet dieser Stahl hohe Gleichmäßigkeit in Gefüge und Analyse und damit eine gute Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen.

Dieser Stahl wurde nach ISO-Empfehlung (entspr. DIN 4990) mit der Hartmetallsorte P 20 bearbeitet. Es wurden rechte, gebogene Drehmeißel nach DIN 4972 und rechte Seitendrehmeißel nach DIN 4980 verwendet.

Filmbeschreibung

Langdreh-Schnitt

Einstellwinkel $\alpha = 60^\circ$

24 B/s¹

Die einleitende Übersichtsaufnahme vermittelt in normaler Ablaufgeschwindigkeit das gewohnte Bild des Zerspanungsprozesses beim Drehen von Stahl. Die Späne fallen als Spiral- oder kurze Wendelspäne mit Anfangsspirale an.

Schnittgeschwindigkeit $v = 4 \text{ m/Min.}$

Spanndicke² $h = 0,2 \text{ mm}$; Spanwinkel $\gamma = 12^\circ$

500 B/s; Bildfeldbreite 10 mm

Die folgenden Lupenaufnahmen mit 20- bis 330facher Zeitdehnung zeigen den Spanbildungsprozeß bei verschiedenen Schnittgeschwindig-

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

² Nach DIN 6580: Spannungsdicke.

keiten im einzelnen. Der Span entsteht als Spirallocke und bricht durch Anstoßen gegen das Werkzeug oder Werkstück. Der rauhen und zerklüfteten Spanoberseite und Seitenfläche steht eine blanke Spanunterseite gegenüber. Die Lamellenschichtung zeigt sich bei einer gut sichtbaren Scherebene relativ gleichmäßig.

$$v = 30 \text{ m/Min.}$$

$$3000 \text{ B/s}$$

Der Span läuft als Spirale ab und zeigt infolge einer andeutungsweise vorhandenen Aufbauschneide eine leicht unregelmäßige Lamellenschichtung. Die starke Stauchung wird durch die Geschwindigkeitsumsetzung in der Scherebene deutlich. — Die Schnittgeschwindigkeit verhält sich zur Spanablaufgeschwindigkeit wie das Stauchverhältnis.

$$v = 90 \text{ m/Min.}$$

$$8000 \text{ B/s}$$

Die Spanbildung ist durch eine etwas grobe, aber gleichmäßige Lamellenschichtung ohne Aufbauschneidenbildung gekennzeichnet. Die dabei entstehende Wendel hat einen relativ großen Durchmesser.

$$v = 250 \text{ m/Min.}$$

$$8000 \text{ B/s; Bildfeldbreite } 20 \text{ mm}$$

Der als glattes Band kontinuierlich ablaufende Span zeigt das typische Bild eines Fließspanes mit einer gleichmäßig feinen, kaum sichtbaren Lamellenstruktur. Die Scherebene erscheint als scharf markierte Linie.

Orthogonal-Schnitt

$$24 \text{ B/s}$$

In normaler Bildgeschwindigkeit zeigt die Übersichtsaufnahme vom Orthogonalschnitt, angenähert durch einen Rohrstirneinstich, gleich drei charakteristische Spanformen: die Anschnittspirale, die folgende Wendel und einen infolge einer Spanablaufstörung entstehenden Wirrschan.

$$v = 4 \text{ m/Min.}; h = 0,2 \text{ mm}; \gamma = 12^\circ$$

$$300 \text{ und } 800 \text{ B/s; Bildfeldbreite } 10 \text{ und } 2,5 \text{ mm}$$

Die folgenden Lupenaufnahmen mit 12- bis 330facher Zeitdehnung je nach Schnittgeschwindigkeit und Bildfeldbreite zeigen den Spanbildungsprozeß beim Orthogonalschnitt im einzelnen.

Beim Anschnittvorgang wird der Span zu einer engen Spirale geformt. Der Span entsteht nach einem gut sichtbaren Umformprozeß in

der Scherzone und weist wegen einer deutlichen Neigung zur Aufbauschneidenbildung eine ungleichmäßige und grobe Lamellenschichtung auf. Die Wirkung der Aufbauschneide zeigt sich auch unterhalb der Schneide an dem gezackten Schnitttrand des Werkstückes. Zum Teil setzt sich der Span aus einzelnen Spanelementen zusammen, die den Scherspantyp andeuten.

$$v = 30 \text{ m/Min.}$$
$$3000 \text{ B/s}$$

Beim Anschnittvorgang wird die typische Spirale erzeugt. Die Spanbildung ist mit einer deutlichen Aufbauschneidenbildung verbunden, die den Spanablauf beeinflusst. Die wachsende Aufbauschneide begünstigt die Spanbildung durch gleichmäßige und dünne Lamellen, während der abwandernde Schneidenansatz die kontinuierliche Lamellenbildung unterbricht und den Spanablauf stört. Der Überhang über der Schneidkante erzeugt einen Spalt zwischen Frei- und Schnittfläche, der sich — wie auch die Dicke des ablaufenden Spanes — ständig mit der Aufbauschneide ändert.

$$v = 90 \text{ m/Min.}$$
$$8000 \text{ B/s; Bildfeldbreite 10 und 5 mm}$$

Die bis zur eingestellten Vorschubgröße zunehmende Spannungsdicke bestimmt die Spanform beim Anschnittvorgang. Nach anfänglichen Spanstücken bildet sich schnell ein zusammenhängender Span. Die engen ersten Windungen der Anschnittspirale liegen federnd in den folgenden weitergerollten Windungen. Der Span entsteht mit gleichmäßigen, aber groben Lamellen ohne Aufbauschneidenbildung in einer schmalen Scherzone, die in erster Näherung als Scherebene betrachtet werden kann.

$$v = 250 \text{ m/Min.}$$
$$8000 \text{ B/s; Bildfeldbreite 25 und 10 mm}$$

Der Span entsteht als anfangs labiler, leicht gewellter, dann als glatter Bandschan, dessen Krümmung mit wachsender Spannungsdicke zunimmt und eine Spirale andeutet. Die aufbauschneidenlose Spanbildung in einer eindeutigen Scherebene mit gleichmäßig feinen Lamellen sind die typischen Kriterien eines Fließspanes.

Spanstauchung (Ergebnis der Filmauswertung)

Aus Spanverformungsmessungen wurde die Spanstauchung ermittelt und in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit dargestellt (Abb. 4).

Bis etwa 30 m/min nimmt die Spanstauchung infolge der Zunahme des tatsächlichen Spanwinkels, hervorgerufen durch die Aufbauschneiden

bildung, ab. Durch die Verminderung der Aufbauschneidenbildung im Bereich von 30 m/min bis 90 m/min und die damit verbundene Abnahme des tatsächlichen Spanwinkels wächst die Spanstauchung zu einem Höchstwert, um dann infolge des sich ändernden Reibverhaltens der Paarung Werkstück-Werkzeug wieder abzufallen.

Die komplexen Einflüsse der Aufbauschneide und des Reibbeiwertes — hervorgerufen durch die Variation der Schnittgeschwindigkeit — führen auf schwierige Gesetzmäßigkeiten bei der Spanbildung.

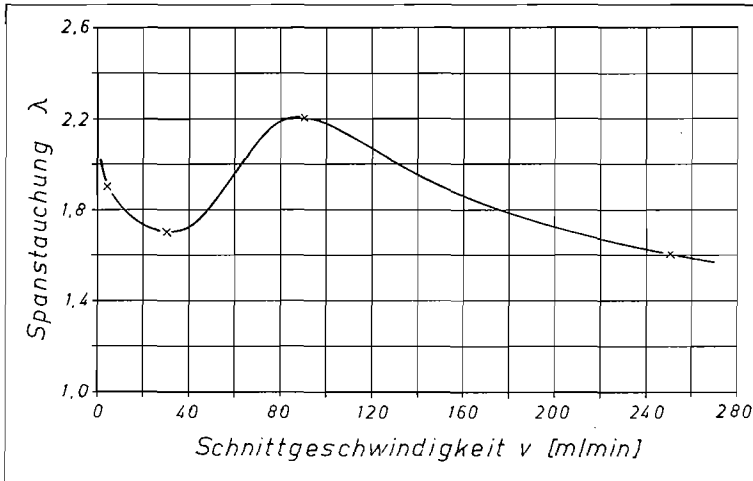


Abb. 4. Spanstauchung λ in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit v
 Paarung C 45 W 3 — P 20; $h = 0,2$; $\gamma = 12^\circ$; keine Nebenschneide

Die Tendenz der Kurve wird durch Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen (ZOREW [12]) und durch Schnittkraftmessungen (WIEBACH [11]) — Schnittkraft und Spanstauchung stehen in direktem Zusammenhang — bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten bestätigt.

Literatur und Filmveröffentlichungen

- [1] DOHMEN, H. G.: Zusammenfassung und Vergleich der zerspanungsmechanischen Theorien. Industrie-Anzeiger 87, 43 (1965), 839—844.
- [2] HUCKS, H.: Plastizitätsmechanische Grundlagen und Kenngrößen der Zerspanung. Diss. TH Aachen 1951.
- [3] International research in production engineering. ASME, New York 1963.

- [4] KIENZLE, O., und H. VICTOR: Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung. Werkstattstechnik und Maschinenbau 47, 5 (1957), 224—225.
- [5] RICHTER, A.: Spanende Formung (1. Lehrbrief). Lehrbriefe für das Fernstudium an der TH Dresden. Berlin 1951.
- [6] RICHTER, A.: Grundlagen der Abspanlehre. Aus: „Hütte“, Taschenbuch für Betriebsingenieure, Bd. 1, 6. Aufl. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München 1964.
- [7] RÖHLKE, G.: Zur Mechanik des Zerspanvorganges. Werkstatt und Betrieb 91, 8 (1958), 473—483.
- [8] RÖSENHAIN, W., und A. C. STURNEY: Report on flow and rupture of metals during cutting. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering Cutting Tools Research Committee 1 (1925), 141—174.
- [9] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [10] WIEBACH, H.-G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. Werkstattstechnik 55, 3 (1965), 128—133.
- [11] WIEBACH, H.-G.: Untersuchung der Werkzeugbeanspruchung beim Drehen von Stahl mit kleinen Spannungsdicken. Diss. TH Hannover 1966.
- [12] ZOREW, N. N.: Der Einfluß der Grundfaktoren auf den Spanbildungsprozeß. Industrie-Anzeiger 81, 20 (1959), 294—298.
- [13] WIEBACH, H.-G.: Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spanndicken. Film B 885 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.

Angaben zum Film

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht.
Stummfilm, schwarzweiß, 124 m, 11 1/2 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Der Film wurde im Jahre 1964 vom Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), aufgenommen; Sachbearbeitung: Dr. G. BEKOW, Aufnahme: K. NOWICK. Wissenschaftliche Leitung: Dipl.-Ing. H.-G. WIEBACH, Institut für spanende Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Hochschule Hannover.

Inhalt des Films

Der Film zeigt den Zerspanungsprozeß beim Drehen von Werkzeugstahl C 45 W 3 mit hartmetallbestückten Werkzeugen. Die Werkstückprobe wurde im Langdreh-Schnitt mit einem Einstellwinkel $\kappa = 60^\circ$ und im angenäherten Orthogonal-Schnitt als Rohreinstich zerspannt. Der Vorgang wurde in jeweils einer Übersichtsaufnahme mit normaler Bildgeschwindigkeit und in mehreren Lupenaufnahmen mit einer der jeweiligen Schnittgeschwindigkeit angepaßten (12- bis 330fachen) Zeitdehnung gefilmt. Die Veränderung der Schnittgeschwindigkeit (4 bis 250 m/min) zeigt deren starken Einfluß auf die Spanentstehung, sichtbar an der unterschiedlichen Lamellenbildung im Span und der Bildung von Aufbauschneiden.

Summary of the Film

The film shows the machining process during the turning of tool-steel C 45 W 3 with carbide tipped tools. The work sample was machined longitudinally and vertically, and the process was filmed both at normal speed and with several magnified shots with a slow-down to suit the respective cutting speed. The change in the cutting speed (4 to 250 m/min) in the individual film shots shows the great effect on the formation of the cuttings, visible from varying lamination in the cutting and from the formation of built-up edge.

Résumé du Film

Le film montre le processus d'enlèvement de copeaux lors du tournage d'acier à outils C 45 W 3 avec des outils à plaquette de métal dur. L'échantillon de la pièce d'œuvre a été travaillé suivant la coupe longitudinale et orthogonale et le processus a été filmé d'une part par une vue d'ensemble à vitesse d'images normale et d'autre part par différentes prises de vues à la loupe avec un ralenti adapté suivant le cas à la vitesse de coupe. Les changements de la vitesse de coupe (4 à 250 m/min) lors des différentes prises de vues, montrent une forte influence sur la formation des copeaux, visible par une formation lamellaire différente dans le copeaux et par une formation constructive de lame.